



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



MANUAL DE MEDICIÓN, REPORTE Y VERIFICACIÓN (MRV) DE REDD+ VERSIÓN 2.0

PROGRAMA DE CARBONO FORESTAL, MERCADOS Y
COMUNIDADES (FCMC)

DICIEMBRE DE 2014

Este documento fue elaborado para su revisión por parte de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Su elaboración estuvo a cargo de Tetra Tech.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

**Programa Regional
de Cambio Climático**

Este documento fue elaborado por Tetra Tech ARD para su revisión por parte de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, mediante una Orden de Trabajo de conformidad con el Contrato de Cantidad Indefinida de Prosperidad, Medios de Vida y Conservación de Ecosistemas (PLACE), Orden de Trabajo Base (contrato de USAID número EPP-I-00-06-00008-00, Número de Orden AID-OAA-TO-I I-00022).

Tetra Tech
159 Bank Street, Suite 300
Burlington, Vermont, 05401, USA
Teléfono: (802) 658-3890
Fax: (802) 658-4247
E-Mail: international.development@tetratech.com
www.tetratechintdev.com

Persona de contacto en Tetra Tech:
Ian Deshmukh, Gerente y Asesor Técnico Senior
E-mail: ian.deshmukh@tetratech.com

Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades (FCMC)
1611 North Kent Street
Suite 805
Arlington, Virginia, 22209, USA
Teléfono: (703) 592-6388
Fax: (866) 795-6462

Stephen Kelleher, Jefe de Equipo
E-mail: stephen.kelleher@fcmglobal.org

Olaf Zerbock, Representante del Director de Contrataciones de USAID
E-mail: ozerbock@usaid.gov

Editores:

- Jennifer Hewson, Conservación Internacional
- Marc Steininger, FCMC & Conservación Internacional
- Stelios Pesmajoglou, Instituto de Gestión de Gases de Efecto Invernadero

Coautores:

- Ángel Parra, Asesor; experto en el inventario de GEI y en el sector UTCUTS
- Gordon Smith, Instituto de Gestión de Gases de Efecto Invernadero
- David Shoch, TerraCarbon, LLC
- John Musinsky, Red Nacional de Observación Ecológica de Estados Unidos
- Fred Stolle, Instituto de Recursos Mundiales
- Kemen Austin, Instituto de Recursos Mundiales
- Irene Angeletti, Instituto de Gestión de Gases de Efecto Invernadero

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) ha creado el Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades (FCMC) a fin de proporcionar a sus misiones, contrapartes gubernamentales, y actores locales e internacionales, la asistencia necesaria para diseñar e implementar las iniciativas de REDD+. Entre los servicios que presta el FCMC se encuentran análisis, evaluación, herramientas y orientación para apoyar el diseño de programas; materiales de capacitación; al igual que el diseño y la facilitación de talleres y reuniones que respalden las contribuciones del Gobierno de los Estados Unidos a la estructura internacional de REDD+.

El CATIE, a través del Programa Regional de Cambio Climático de USAID (PRCC) financió y supervisó la traducción al español de este documento.

La versión en español de este documento ha sido posible gracias al generoso apoyo del pueblo estadounidense a través de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo los términos de la Cooperativa Número de Acuerdo AID 596-A-13-00002 (Programa de Cambio Climático Regional USAID), ejecutado por el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) y en la que participan la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Assistance and Relief Everywhere (CARE), Terra Global Capital, LLC (Terra Global) y Development Alternatives Inc, (DAI). Los contenidos y opiniones expresadas aquí son responsabilidad del Programa Regional de Cambio Climático de USAID y no reflejan necesariamente las opiniones de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.

Por favor, cite esta publicación de la siguiente manera:

Hewson, J., M.K. Steininger y S. Pesmajoglou, eds. 2014. Manual de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de REDD+ Versión 2.0. Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades financiado por USAID. Washington, DC, Estados Unidos.

MANUAL DE MEDICIÓN, REPORTE Y VERIFICACIÓN (MRV) DE REDD+, VERSIÓN 2.0

PROGRAMA DE CARBONO FORESTAL, MERCADOS Y
COMUNIDADES (FCMC)

DICIEMBRE DE 2014

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Las opiniones expresadas por los autores de esta publicación no reflejan necesariamente la postura de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni del Gobierno de los Estados Unidos.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	I
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	III
AGRADECIMIENTOS	VI
I.0 INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROPÓSITO, ÁMBITO Y ESTRUCTURA.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	5
1.3 REFERENCIAS.....	10
2.0 ARREGLOS INSTITUCIONALES	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE MRV PARA REDD+.....	15
2.3 FUNCIONES Y COMPONENTES IMPORTANTES DE LOS ARREGLOS NACIONALES.....	19
2.4 PASOS PARA ESTABLECER ARREGLOS NACIONALES.....	22
2.5 EJEMPLOS.....	25
2.6 FORMULARIOS DEL SISTEMA NACIONAL DE LA EPA.....	30
2.7 REFERENCIAS.....	35
3.0 ESTIMACIÓN DE EMISIONES Y ABSORCIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	36
3.1 INTRODUCCIÓN.....	36
3.2 ORIENTACIÓN DEL IPCC.....	39
3.3 PASOS PARA EL INVENTARIO Y REPORTE.....	45
3.4 DEFINICIÓN DE DEPÓSITOS DE CARBONO Y USOS DE LA TIERRA.....	48
3.5 METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EMISIONES Y ABSORCIONES.....	50
3.6 REFERENCIAS.....	58
4.0 INVENTARIOS DE CAMPO	59
4.1 INTRODUCCIÓN.....	59
4.2 RESERVAS DE CARBONO Y SU MEDICIÓN.....	64
4.3 CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN INVENTARIO.....	67
4.4 EL EQUIPO DE TRABAJO PARA INVENTARIOS FORESTALES DE CARBONO.....	78
4.5 TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS.....	79
4.6 CÁLCULO DE LAS RESERVAS DE CARBONO USANDO LOS DATOS DE CAMPO.....	82
4.7 CONTROL DE DATOS.....	89
4.8 CONSOLIDACIÓN DE BASES DE DATOS DEL INVENTARIO.....	90
4.9 MÉTODO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS.....	92
4.10 REFERENCIAS.....	94
4.11 RECURSOS SELECTOS.....	96
5.0 SENSORES REMOTOS PARA EL ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE COBERTURA DE LA TIERRA	97
5.1 INTRODUCCIÓN.....	97
5.2 USOS DE LA TIERRA Y LAS CATEGORÍAS SEGÚN LA CMNUCC.....	99

5.3 PASOS Y GENERALES Y NECESIDADES	107
5.4 FUNDAMENTOS SOBRE LOS SENSORES REMOTOS.....	110
5.5 ÁREAS DE INVESTIGACIÓN EMERGENTES.....	131
5.6 REFERENCIAS	139
5.7 FUENTES DE DATOS SATELITALES COMUNES PARA MONITOREAR EL USO DEL SUELO	144
5.8 RECURSOS SELECTOS	148
6.0 REPORTE Y VERIFICACIÓN: ELEMENTOS Y ORIENTACIONES	152
6.1 INTRODUCCIÓN	152
6.2 REPORTE.....	154
6.3 VERIFICACIÓN	168
6.4 REFERENCIAS	179
7.0 REVISIÓN DE TEMAS.....	180
7.1 LA HISTORIA DE REDD+ BAJO LA CMNUCC	180
7.2 MONITOREO COMUNITARIO	196
7.3 SISTEMAS DE MONITOREO EN TIEMPO CASI REAL Y ALERTAS TEMPRANAS	213

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACP	Análisis de categorías principales
ACR	Registro Estadounidense de Carbono
AD	Árboles de decisión
AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra
BES	Biomasa por encima del suelo
BRDF	Función de distribución de reflectancia bidireccional
BUR	Actualización bienal de informes
CH ₄	Metano
CI	Conservación Internacional
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CMP	Conferencia de las Partes en calidad de Reunión de las Partes del Protocolo de Kioto
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferencia de las Partes
CUT	Cambio en el uso de la tierra
CV	Coefficiente de variación
DA	Datos de la actividad
DAP	Diámetro a la altura del pecho
EFDB	Base de datos de factores de emisión
EM	Electromagnético
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
FAO	Organización para la Alimentación y la Agricultura
FAS	Sistema de alerta de incendios
FCEB	Factores de conversión y expansión de biomasa
FCMC	Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades
FCPF	Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques
FE	Factores de emisión
FIRMS	Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos
FSI	Evaluación forestal de la India

FUNCATE	Fundación para la Ciencia, Aplicaciones y Tecnología Espacial
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente
GEI	Gas de efecto invernadero
GFIMS	Sistema Global de Gestión de Información sobre Incendios
GFOI MGD	Documentación de Métodos y Directrices de la Iniciativa Global de Observación Forestal
GFW	Global Forest Watch
GHGMI	Instituto de gestión de gases de efecto invernadero
GLAS	Sistema altímetro láser de geociencias
GOFC-GOLD	Observación Mundial de la Dinámica de los Bosques y la Cobertura De la Tierra
GPS	Sistema de posicionamiento global
IDEAM	Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ILUA	Evaluación integrada del uso del suelo
INPE	Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
LDCM	Misión de continuidad de datos Landsat
LEDS	Estrategias de desarrollo bajo en emisiones
LiDAR	Detección y medición de distancias por luz
MADS	Ministerio Colombiano de Ambiente y el Desarrollo Sostenible
MCT	Ministerio Brasileño de Ciencia, Tecnología e Innovación
MDE	Modelo digital de elevación
MRV	Medición, reporte y verificación
N ₂ O	Óxido de nitrógeno
NAMA	Medidas de mitigación adecuadas a cada país
NASA	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (EE. UU.)
CN	Comunicaciones nacionales
NGGIP	Programa de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero
NR	Nivel de referencia forestal
NRE	Nivel de referencia de emisiones forestales
NRT	Tiempo casi real
OBP-UTCUTS	Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONG	Organización no gubernamental
OSACT	Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRODES	Projeto De Estimativa De Desflorestamento da Amazoni (Programa brasileño de monitoreo de la deforestación del Amazonas)
QA/QC	Aseguramiento de calidad y control de calidad
QUICC	Indicador trimestral de cambios de cobertura
RADAR	Detección y medición de distancias por radio
REDD+	Reducción de las emisiones de la deforestación y la degradación forestal, más el papel de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y el fomento de las reservas de carbono forestal
RN	Redes neuronales
SES	Seguridad social y ambiental
SIG	Sistema de Información Geográfica
SINA	Sistema Nacional Ambiental de Colombia
SLR	Radar de visión lateral
SNMF	Sistema nacional de monitoreo forestal
SOT	Sistema de observación de la Tierra
SRTM	Misión topográfica Radar Shuttle
TACCC	Principios del IPCC de transparencia, precisión, completitud, comparabilidad y coherencia
TOA	Arriba de la atmósfera
UMD	Universidad de Maryland
UMM	Unidad mínima de mapeo
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
VCS	Estándar verificado de carbono
GT	Grupos de trabajo
WRI	Instituto de Recursos Mundiales

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los colegas de nuestras organizaciones que han brindado su opinión sobre el texto, incluidos, Colin Silver, Maggie Roth, Rishi Das y Leif Kindberg del FCMC; Karyn Tabor, Mario Chacón y Johnson Cerda de Conservación Internacional; Deborah Lawrence de la Universidad de Virginia; Andrew Lister, Ronald McRoberts y Charles Scott de los Servicios Forestales de EE. UU.; Chris Potter de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de EE. UU. en el Centro de Investigación Ames; Christine Dragisic del Departamento de Estado de EE. UU.; Megan McGroddy, asesora de SilvaCarbon; Michael Gillenwater del Instituto de Gestión de Gases de Efecto Invernadero; Asim Banskota de la Universidad de Minnesota; Axel Penndorf de BlackBridge; Frank Martin Seifert del Instituto Europeo de Investigaciones Espaciales de Observación de la Tierra (ESRIN); Carly Green y Jim Penman de la Iniciativa Global de Observación Forestal; Brice Mora del Consorcio para la Observación Global de los Bosques y las Dinámicas de la Cobertura De la Tierra; y miembros de la oficina del cambio climático de USAID. Asimismo, los autores les dan las gracias a las personas que realizaron las gráficas utilizadas en este manual, incluidas, Ned Horning del Museo Estadounidense de Historia Natural, John Rogan de la Universidad de Boston y Jamie Eaton de TerraCarbon LLC. Las gráficas adicionales son de las páginas Web de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático y el programa Landsat.

I.0 INTRODUCCIÓN

Autores: Marc Steininger, Fred Stolle, Jennifer Hewson y Stelios Pesmajoglou

I.1 PROPÓSITO, ÁMBITO Y ESTRUCTURA

El propósito de este manual es proporcionar una visión general de los datos, modelos, técnicas y métodos de contabilidad que podrían formar parte de un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) para reducir las emisiones causadas por la deforestación y la degradación forestal, y del papel que desempeña la conservación, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal en países en desarrollo (REDD+). Todo esto, en el contexto de REDD+ como un mecanismo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Este manual tiene como propósito brindar información a quienes elaboran políticas sobre REDD+, así como a aquellos que implementan los sistemas de MRV a nivel nacional.

I.1.1 Lector meta

Este manual va dirigido a varios tipos de lectores meta. Primero, va dirigido a los que están a cargo de la planificación y el desarrollo de un sistema de MRV en una agencia nacional o subnacional. Aunque puede que estas personas no realicen actividades específicas de MRV por sí mismas, tales como el trabajo de campo, el procesamiento de datos, o el análisis y reporte, sí deben entender lo que este supone en cuanto a tiempo del personal, financiamiento, experiencia, capacitación, asuntos de precisión y opciones disponibles en cuanto a las distintas técnicas y métodos. Es importante que estas personas tengan un amplio conocimiento de todos los aspectos que intervienen en un sistema de MRV, para así lograr concebir su estructura dentro de la agencia, entender la gama de componentes de MRV y participar en discusiones informadas sobre los datos, las técnicas y el personal y equipo necesarios para contabilizar los gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, deberían tener un conocimiento básico de la terminología y los conceptos de MRV, para comunicarse con los asesores, saber qué preguntas hacer y para comparar de forma crítica los distintos consejos que puedan recibir.

Este manual también va dirigido a gerentes y técnicos que participan en el diseño de un subcomponente de un sistema de MRV. El manual tiene como meta asistir a estas personas a la hora de concebir dicho diseño, así como a entender el contexto más amplio de su subcomponente. En el caso de la jurisdicción subnacional, se puede asumir que los arreglos y requisitos son similares a los que están a nivel nacional y que la coordinación con el gobierno nacional será muy importante. Incluso si el proceso general de MRV se produce a nivel de jurisdicción subnacional, algunos aspectos del sistema de MRV pueden continuar llevándose a cabo a nivel nacional, para reducir los costos generales y promover la estandarización.

Quienes trabajan en iniciativas in situ también hallarán este manual útil en cuanto a sus necesidades de MRV. Los Estándares verificados de carbono (VCS, por sus siglas en inglés) y el Registro Estadounidense de Carbono (ACR, por sus siglas en inglés) son ejemplos de programas que sirven de respaldo en los mercados voluntarios de carbono mediante el registro de las reducciones de emisiones presentadas por iniciativas in situ. Estos programas proporcionan metodologías aprobadas para la estimación de las bases de referencia de REDD+ y MRV, así como los enfoques de REDD+ anidado, donde se pueden coordinar el monitoreo y la contabilidad a distintos niveles. Los aspectos técnicos de estas metodologías suelen

diferir de las directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), sobre todo las relacionadas con la definición de las clases de uso de la tierra y la estimación de las reservas de carbono. Otros aspectos dependen de tecnologías y metodologías similares a las del nivel nacional.

I.1.2 Ámbito y estructura

El manual comienza con un resumen general de los componentes del programa necesarios para un sistema de MRV nacional, incluida una discusión sobre los arreglos nacionales exigidos por la CMNUCC (Capítulo 2). Los siguientes tres capítulos abordan los procesos de medición, es decir, los inventarios de GEI (Capítulo 3) y sus contribuciones principales; inventarios de campo (Capítulo 4) y el cambio en el uso de la tierra (Capítulo 5). El Capítulo 6 cubre los procesos de reporte y verificación.

En el Capítulo 7, se proporcionan tres revisiones por temas para brindar más información. La primera (Sección 7.1) trata sobre las negociaciones de REDD+ de la CMNUCC y el papel que el IPCC ha tenido a la hora de proporcionar directrices de MRV. Las últimas dos secciones tratan sobre actividades que podrían formar parte de los sistemas de MRV, pero hasta ahora sólo se han definido ampliamente o están siendo evaluadas en varios países: MRV comunitario (Sección 7.2) y monitoreo con alertas tempranas o en tiempo casi real (NRT) (Sección 7.3). Al principio del manual se proporciona un breve glosario.

El lector observará que algunos capítulos son menos prescriptivos que otros. Este es un reflejo del estado actual de la ciencia y las directrices sobre estos temas. Por ejemplo, las directrices del IPCC proporcionan requisitos específicos y formatos de reporte para los inventarios de GEI. Asimismo, proporcionan directrices específicas sobre la medición de reservas de carbono, con base en una larga historia de métodos de campo en cuanto a inventarios forestales. Por el contrario, aunque el IPCC proporciona formatos para reportar los cambios en el uso de la tierra, da relativamente pocas directrices específicas sobre cómo se deberían estimar estos cambios. En la mayoría de los casos, se necesitan sensores remotos, principalmente a través del análisis de los datos digitales obtenidos por satélites, para monitorear a nivel nacional los cambios en el uso de la tierra. Los sensores remotos son un campo en evolución con nuevas tecnologías y que conlleva varios enfoques y factores de decisión que merecen la pena ser considerados. En el Capítulo 5, se hace un resumen general de los pasos a seguir para seleccionar un sistema de monitoreo de cambios en el uso de la tierra.

Este manual sirve como complemento a otros recursos disponibles que se centran en el sistema de MRV de REDD+, como por ejemplo el Manual de referencia¹ de Observación Global de los Bosques y la Dinámica de la Cobertura De la Tierra (GOF-C-GOLD, por sus siglas en inglés) y la Documentación de Métodos y Directrices (MGD, por sus siglas en inglés)² de la Iniciativa Global de Observación Forestal (GFOI). El Manual de referencia GOF-C-GOLD presenta una revisión actualizada anual de la ciencia y brinda información detallada sobre la evaluación de las tecnologías y, aunque tiene un diseño muy conceptual, proporciona una variedad de ejemplos. La GFOI MGD es una guía que presenta paso a paso enfoques de fácil implementación para generar, por ejemplo, datos de la actividad basados en sensores remotos y factores de emisión basados en inventarios de carbono en campo. Este manual aborda los componentes principales para desarrollar un sistema de MRV. Proporciona además un enfoque adicional sobre los temas de los arreglos institucionales, el reporte y la verificación; con capítulos muy detallados

¹ El Libro de consulta está disponible en http://www.gofcgold.wur.nl/redd/sourcebook/GOF-C-GOLD_Sourcebook.pdf

² El MGD está disponible en <http://www.gfoi.org/methods-guidance-documentation>

sobre estos temas. Se anima al lector a que utilice todas las fuentes disponibles. Al principio del manual se proporciona un breve glosario.

En la Sección 3.3 de este manual, *Pasos para el Inventario y Reporte*, se resume la secuencia de pasos a seguir para crear un inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI). El paso, o pasos, de los que se habla en cada capítulo, están resaltados en una figura sobre Pasos para el Inventario y Reporte, al principio de cada capítulo. Ya que el proceso requiere de pasos que pueden desarrollarse 1) en secuencia, 2) simultáneamente o 3) en forma tal que algunas partes del paso se desarrollan antes que otras, ciertos temas relevantes a determinado paso pueden ser tratados en un capítulo posterior, como se ilustra a continuación en la Figura I.1.

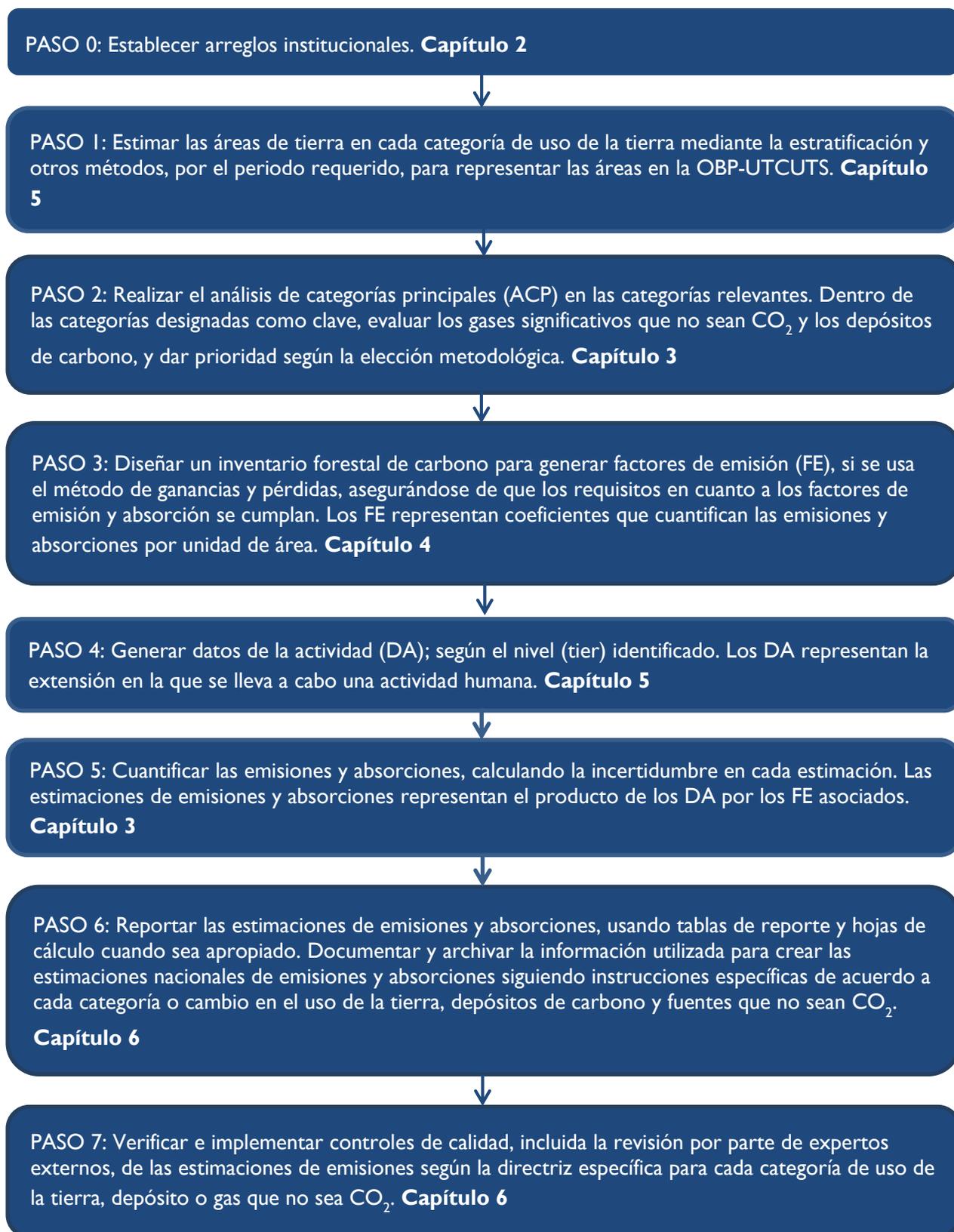


Figura 1.1: Pasos para el Inventario y Reporte descritos en cada capítulo.

I.2 ANTECEDENTES

I.2.1 Reducción de las emisiones causadas por la deforestación y la degradación forestal (REDD+)

Se espera que REDD+ sea implementado mayoritariamente en países tropicales en vías de desarrollo, donde se produce la mayoría de las emisiones forestales. Los bosques tropicales del mundo son ricos en recursos naturales. Estos bosques contienen el 50% de las especies de la tierra en menos del 5 % de la superficie terrestre (Mittermeier y Robles Gil, 2005). Además, estos bosques proporcionan una gran variedad de servicios de los ecosistemas como madera, leña, purificación del agua y valores culturales y religiosos. Estos beneficios son esenciales para más de 50 millones de personas que viven en bosques tropicales y para los muchos millones de personas que dependen de forma indirecta de estos servicios forestales. Asimismo, los bosques tropicales del mundo ayudan a regular el clima al almacenar más de 200 mil millones de toneladas métricas de carbono (Baccini *et al.*, 2012).

Sin embargo, el planeta pierde actualmente más de siete millones de hectáreas de bosque al año (Hansen *et al.*, 2014). Este ritmo de deforestación tiene serias consecuencias para la biodiversidad, las comunidades rurales que dependen de los bosques para obtener beneficios y alimentos y los efectos de las emisiones de GEI en el clima global. Según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2014), las emisiones netas de GEI anuales del uso de la tierra y las actividades de cambios en el uso de la tierra entre el año 2000 y 2010, representaron aproximadamente entre 4300 millones y 5500 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂eq) al año, lo que constituye alrededor del 12 % de las emisiones globales de CO₂.

Aunque la deforestación en los trópicos es el principal contribuyente a las emisiones globales, a muchos países con bosques tropicales les falta información actualizada y precisa sobre la cobertura forestal, los cambios de contenido de carbono que están sucediendo en sus bosques y los causantes de estos cambios. Los países necesitan esta información para gestionar sus bosques.

Esfuerzos para proveer pagos por los servicios del ecosistema, pueden crear incentivos para reducir la deforestación y, de ser efectivos, ayudar a abordar las necesidades de las comunidades cuyo sustento depende de los bosques. Estas acciones incluyen los esfuerzos de REDD+ bajo la CMNUCC. En el Plan de Acción de Bali de la CMNUCC (2007) se observó una mayor disposición por parte de países industrializados y donantes para subvencionar proyectos y políticas que reduzcan la deforestación en países en desarrollo, lo que fue ratificado después en los “Acuerdos de Cancún”. La voluntad del apoyo internacional se demuestra también con la creación de programas como el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF, por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para la Reducción de las Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación Forestal (ONU-REDD), así como varios esfuerzos bilaterales. El principio de REDD+ y la disponibilidad de fondos han generado gran interés entre los países en desarrollo. Sin embargo, para cumplir con los requisitos de REDD+ (como se describe en los siguientes capítulos), la creación significativa de capacidades es necesaria. Para crear la capacidad necesaria para la preparación y anticipación de REDD+, los donantes están apoyando programas de preparación en muchos países, en los que se necesita mejorar la capacidad técnica. Un componente principal de REDD+, y un centro de atención de las distintas iniciativas, es la capacitación y el desarrollo de sistemas nacionales de MRV.

Los sistemas de MRV deben integrarse a todas las estrategias de desarrollo de REDD+ de un país, de la misma forma en que las políticas deben incluir cláusulas para asegurar el cumplimiento y la medición de su impacto. Esto incluye la coordinación con las Medidas de mitigación adecuadas a cada país (NAMA,

por sus siglas en inglés) de un país y el reporte asociado. Algunos países están desarrollando programas anidados de REDD+, en los que las actividades de REDD+ existen a dos o más niveles, como a niveles in situ o estatal y a nivel nacional. En estos casos, el MRV debe ser coordinado en los distintos niveles para asegurar que los sistemas subnacionales de MRV no contradigan el sistema nacional. Por último, un sistema de MRV debe estar vinculado al proceso de toma de decisiones e implementación, para así posibilitar mejor la gestión adaptativa y la implementación de políticas a nivel nacional.

La CMNUCC tiene órganos especializados, incluido el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT), uno de los dos órganos subsidiarios permanentes de la Convención. En relación a REDD+, el OSACT proporciona directrices sobre los elementos técnicos y metodológicos de REDD+, incluidos los niveles de referencia y los MRV, y aconseja a la Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP) y a la Conferencia de las Partes en calidad de Reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (CMP)³ a través de la aportación puntual de información sobre asuntos científicos y tecnológicos según estén relacionados con la Convención o el Protocolo.

La *Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura* (OBP-UTCUTS) del IPCC, citada en este documento, es un recurso clave y se centra en los requisitos generales de reporte y criterios detallados para aspectos particulares del MRV. El IPCC fue creado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como órgano intergubernamental de las Naciones Unidas. Actualmente, 195 países son miembros del IPCC. La OBP-UTCUTS tiene un papel principal a la hora de proporcionar requisitos de reporte en el contexto de la CMNUCC y metodologías para el MRV, y con frecuencia, se hace referencia a ella en este manual.

Además de los órganos principales de orientación técnica, el OSACT y el IPCC, hay otras organizaciones vinculadas al proceso de la CMNUCC que proporcionan fondos y realizan proyectos piloto o programas nacionales para seguir mejorando el entendimiento de REDD+. El Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), entidad financiera de la Convención, proporciona asistencia financiera a países en desarrollo a través de sus agencias de implementación, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el PNUMA y el Banco Mundial. Asimismo, algunos acuerdos bilaterales ofrecen asistencia financiera y técnica a las Partes no incluidas en el Anexo I⁴ para la preparación de sus comunicaciones nacionales.

Casi todos estos esfuerzos son para apoyar REDD+ como mecanismo de remuneración por el desempeño, y por lo tanto, enfatizan la necesidad de un MRV de alta calidad. Sin embargo, la calidad del MRV no siempre está garantizada debido a varios factores:

³ La COP es el órgano supremo de toma de decisiones de la CMNUCC. Todos los Estados que son Partes de la Convención están representados en la COP, donde revisan la implementación de la Convención y otros instrumentos jurídicos que la COP adopte y toma las decisiones necesarias para promover la implementación efectiva de la Convención, incluidos los arreglos administrativos e institucionales. Todos los Estados que son Parte del Protocolo de Kioto están representados en la CMP, mientras que los Estados que no son Parte participan como observadores. La CMP revisa la implementación del Protocolo de Kioto y toma decisiones para promover su implementación efectiva.

⁴ LA CMNUCC divide los países en dos grupos principales: Las Partes incluidas en el Anexo I y las Partes no incluidas en el Anexo I. Las **Partes incluidas en el Anexo I** (que deben su nombre a que aparecen en el Anexo I de la CMNUCC) incluyen los países industrializados que eran miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) en 1992, más los países con economías en transición (las Partes EIT), incluidas la Federación Rusa, los Estados Bálticos y algunos Estados de Centro Europa y Europa Oriental. Las **Partes no incluidas en el Anexo I** son todos los demás países que no aparecen en el Anexo I de la CMNUCC y que son mayoritariamente países en desarrollo. Algunos grupos de países en desarrollo son reconocidos por la CMNUCC como especialmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático, como países con zonas costeras bajas y aquellos que son proclives a la desertificación y sequías. Otros (como los países cuyos ingresos dependen mucho de la producción de combustibles fósiles y el comercio) son más vulnerables a los posibles impactos económicos de las medidas para combatir el cambio climático.

- *Falta de información* para evaluar las políticas y establecer metas realistas y su compensación. La información sobre los bosques y el uso de la tierra tiene que ser actualizada continuamente, archivada sistemáticamente y estar disponible a los encargados de elaborar políticas para que puedan evaluarla de forma oportuna. Los datos de un país sobre el cambio de la cobertura forestal no se almacenan de forma sistemática y, con frecuencia, no hay métodos ni sistemas para detectar la tala y la degradación de bosques. Tampoco hay información sobre el flujo ni sobre los depósitos de carbono, y los países no pueden identificar de forma sistemática las emisiones de GEI de los sectores del uso de la tierra.
- *Falta de los modelos existentes* para generar información que pueda ayudar a los encargados de elaborar políticas en el diseño de políticas y programas. Hay pocos ejemplos de sistemas nacionales de MRV integrales. Los mecanismos de intercambio de datos, las metodologías y las experiencias no son suficientes como para ser replicados.
- *Falta de capacidad* para recopilar y utilizar información sobre la cubierta forestal y el carbono forestal. Muchos países no disponen del conocimiento necesario ni de la capacidad para evaluar los impactos de las políticas alternativas en cuanto a la extensión forestal, las reservas de carbono y la economía.
- *Falta de transparencia* debido a la falta de intercambio de datos sobre los bosques y los mecanismos de carbono forestal para facilitar una amplia participación de la sociedad civil en la toma de decisiones de REDD+. No existen sistemas de monitoreo independientes con la capacidad de responsabilizar al gobierno por sus decisiones en cuanto a políticas.

Recuadro 1.1: Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades (FCMC)

El Gobierno estadounidense prometió mil millones de dólares para un financiamiento “de inicio rápido” para un periodo del 2010 al 2012, con el fin de asistir a los países en el desarrollo e implementación de planes de REDD+ que contribuyan a los medios de vida sostenibles, a la protección de la biodiversidad y al respeto de los derechos de los pueblos indígenas, mujeres, pobres y poblaciones vulnerables. La Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID) ha estado liderando la implementación de actividades de REDD+ con financiamiento adjudicado a través del pilar de paisajes sostenibles del programa global sobre el cambio climático. En respuesta a la demanda de contribuciones técnicas para mejorar el marco internacional de REDD+ y para obtener asistencia técnica a la hora de implementar proyectos y programas relacionados con REDD+, USAID creó el Programa de Carbono Forestal, Mercados y Comunidades (FCMC)(2011-2015) para proporcionar a sus misiones, contrapartes gubernamentales y partes interesadas locales e internacionales, asistencia técnica en el desarrollo y la implementación de iniciativas integradas de REDD+.

El FCMC está fomentando la capacidad técnica mediante el desarrollo de herramientas y la capacitación que apoyan las contribuciones del Gobierno de los Estados Unidos a la arquitectura internacional de REDD+. Las competencias técnicas proporcionadas por el FCMC presentan un enfoque integrado para abordar la seguridad social y ambiental (SES); el financiamiento y los mercados de carbono (FCM); la medición, reporte y verificación (MRV); y las estrategias de desarrollo bajo en emisiones (LEDS).

La tarea del MRV dentro del FCMC se centra en el fomento de capacidades sobre protocolos vinculados a REDD+. EL equipo del FCMC está compuesto por Conservación Internacional (CI), el Instituto de Gestión de Gases de Efecto Invernadero (GHGMI) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), coordinados por Tetra Tech, organización líder general del FCMC.

La versión 1 del manual de MRV del FCMC fue publicada en la COP19, en Varsovia (Polonia) en noviembre de 2013. La versión 2 incluye revisiones y actualizaciones en los diferentes capítulos, con base en comentarios y decisiones importantes de REDD+ que han tenido lugar desde la publicación de la versión 1, incluidas las decisiones adoptadas en la COP19, conocidas colectivamente como el “Marco de Varsovia para REDD+”. Las decisiones se resumen más abajo; se hace referencia a las Decisiones 10-15/CP.19 en todo el manual. En el recuadro 1.2 aparece un resumen de la Decisión 9/CP.19, ya que esta decisión no es demasiado relevante a los temas tratados y, por lo tanto, no se hace más referencia a ella en el manual.

- **Decisión 9/CP.19:** Programa de trabajo sobre la financiación basada en los resultados para avanzar en la plena realización de las actividades a que se hace referencia en la decisión 1/CP.16, párrafo 70. Ver el recuadro 1.2.
- **Decisión 10/CP.19:** Coordinación del apoyo a la realización de actividades relacionadas con medidas de mitigación en el sector forestal por parte de los países en desarrollo, incluidos los arreglos institucionales.
- **Decisión 11/CP.19:** Modalidades de los sistemas nacionales de vigilancia forestal.

- **Decisión 12/CP.19:** Calendario y frecuencia de la presentación del resumen de la información sobre la forma en que se están abordando y respetando todas las salvaguardas expuestas en la decisión 1/CP.16, apéndice I.
- **Decisión 13/CP.19:** Directrices y procedimientos para la evaluación técnica de las comunicaciones presentadas por las Partes sobre los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal propuestos.
- **Decisión 14/CP.19:** Modalidades para la medición, notificación y verificación.
- **Decisión 15/CP.19:** Lucha contra los factores impulsores de la deforestación y la degradación forestal.

Asimismo, se han realizado cambios a cada uno de los capítulos técnicos. Por último, además de este manual, se facilita un nuevo manual más corto: FCMC Manual de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de REDD+: Resumen (en adelante “Resumen”). El Resumen no tiene el mismo nivel de detalle que los capítulos técnicos, pero es más exhaustivo que el Resumen para los responsables de elaborar políticas. El Resumen ofrece una visión general de los componentes de MRV y el proceso para el desarrollo de un sistema sostenible de MRV. Asimismo, en él aparece una lista de verificación de los pasos a seguir para la creación de sistemas que los países puedan usar o adaptar según sus propias circunstancias. Esto puede ser de utilidad para hacerle seguimiento al progreso alcanzado en la creación de este sistema en determinado país.

Recuadro 1.2: Programa sobre la financiación basada en los resultados para avanzar en la plena realización de las actividades de REDD+

Con la adopción de la Decisión 9/CP.19, los gobiernos que trabajan de conformidad con la CMNUCC reafirmaron el financiamiento basado en los resultados proporcionado a países en desarrollo para la plena realización de las actividades de REDD+ puede proceder de varias fuentes, públicas y privadas, bilaterales y multilaterales, incluidas fuentes alternas.

Asimismo, acordaron que los países en desarrollo que buscan obtener y recibir pagos basados en los resultados deben proporcionar el resumen de la información más reciente sobre cómo se han abordado y respetado todas las salvaguardas antes de que puedan recibir pagos basados en los resultados.

La COP anima a las entidades que financian actividades de REDD+, incluido el Fondo Verde para el Clima, a canalizar de forma conjunta el financiamiento adecuado y predecible basado en los resultados de forma equilibrada y justa, tomando en cuenta los distintos enfoques políticos. Asimismo, se decidió establecer un centro de información en la plataforma en línea de la página Web de la CMNUCC como medio para publicar información sobre los resultados de las actividades de REDD+ y los pagos basados en los resultados correspondientes.

I.3 REFERENCIAS

- Baccini, A., S.J. Goetz, W.S. Walker, N.T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P.S.A. Beck, R. Dubayah, M.A. Friedl, S. Samanta, and R.A. Houghton. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2:182-185. doi:10.1038/nclimate1354
- Hansen, M.C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Komar-deey, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice, and J.R.G. Townshend. 2013. [High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change](#). *Science* 342(6160):850-853. doi: 10.1126/science.1244693
- IPCC. 2014. Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsidig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx, eds.. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Mittermeier, R. and P. Robles Gil. 2005. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions, Conservation International, 392 pp.

2.0 ARREGLOS INSTITUCIONALES

Autor: Stelios Pesmajoglou

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo trata sobre los elementos principales de un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) para la reducción de emisiones provocadas por la deforestación y la degradación forestal y la función que desempeñan la conservación, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono en países en desarrollo (REDD+), así como las funciones y componentes principales de los arreglos institucionales. En él se destacan los pasos principales para establecer arreglos nacionales y se describen los arreglos administrativos y organizativos clave, incluidas las funciones y las responsabilidades de los distintos actores. En la Sección 3.3 del manual, *Pasos para el Inventario y Reporte*, se describe la secuencia de pasos necesarios para crear un inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI). Este capítulo es importante para las actividades destacadas en la página siguiente.

PASO 0: Establecer arreglos institucionales.

PASO 1: Estimar las áreas de tierra en cada categoría de uso de la tierra mediante la estratificación y otros métodos, por el periodo requerido, para representar las áreas en la OBP-UTCUTS.

PASO 2: Realizar el análisis de categorías principales (ACP) en las categorías relevantes. Dentro de las categorías designadas como clave, evaluar los gases significativos que no sean CO₂ y los depósitos de carbono, y dar prioridad según la elección metodológica.

PASO 3: Diseñar un inventario forestal de carbono para generar factores de emisión (FE), si se usa el método de ganancias y pérdidas, asegurándose de que los requisitos en cuanto a los factores de emisión y absorción se cumplan. Los FE representan coeficientes que cuantifican las emisiones y absorciones por unidad de área.

PASO 4: Generar datos de la actividad (DA); según el nivel (tier) identificado. Los DA representan la extensión en la que se lleva a cabo una actividad humana.

PASO 5: Cuantificar las emisiones y absorciones, calculando la incertidumbre en cada estimación. Las estimaciones de emisiones y absorciones representan el producto de los DA por los FE asociados.

PASO 6: Reportar las estimaciones de emisiones y absorciones, usando tablas de reporte y hojas de cálculo cuando sea apropiado. Documentar y archivar la información utilizada para crear las estimaciones nacionales de emisiones y absorciones siguiendo instrucciones específicas de acuerdo a cada categoría o cambio en el uso de la tierra, depósitos de carbono y fuentes que no sean CO₂.

PASO 7: Verificar e implementar controles de calidad, incluida la revisión por parte de expertos externos, de las estimaciones de emisiones según la directriz específica para cada categoría de uso de la tierra, depósito o gas que no sea CO₂.

De acuerdo con la decisión 1/CP.16, las acciones de REDD+ basadas en resultados, que tienen que ser medidas, reportadas y verificadas completamente, deben implementarse mediante un enfoque de tres fases (consulte el Recuadro 2.1). Una de las acciones clave para la Fase 1 es el establecimiento de arreglos institucionales, conocidos a veces como “sistemas nacionales”, que garanticen la existencia de un sistema de MRV de emisiones y absorciones de GEI de las actividades de REDD+ transparente, comparable, coherente, exhaustivo y exacto.

Recuadro 2.1: Enfoque de tres fases para REDD+

Durante la **Fase 1** (generalmente conocida como “preparación de REDD+”), los países desarrollarían una estrategia nacional o plan de acción; un nivel de referencia de emisiones forestales y/o un nivel de referencia forestal nacionales; un sistema de monitoreo forestal nacional que sea robusto y transparente; y un sistema de información sobre cómo las salvaguardas sociales, legales y ambientales se están abordando y respetando a lo largo del proceso de implementación de las actividades de REDD+.

La **Fase 2** trata la implementación de políticas y medidas nacionales, así como estrategias o planes de acción nacionales, que podrían implicar el fomento de las capacidades, el desarrollo y la transferencia de tecnologías y actividades de demostración basadas en los resultados.

En la **Fase 3** se habla sobre la implementación de acciones basadas en resultados que deberían ser medidas, reportadas y verificadas completamente.

Ya que los países tienen niveles distintos de desarrollo y tienen necesidades de capacidades distintas, la implementación de estas tres fases está realizándose en distintos periodos. Por ejemplo, algunos países tendrían que comenzar desde cero y asegurarse de que estén implementando las primeras dos fases antes de estar preparados para implementar actividades de REDD+, mientras que otros podrían saltarse las primeras fases si ya han establecido los elementos necesarios para las Fases 1 y 2.

Recuadro 2.2 Definiciones de los elementos de MRV

La **Medición** se refiere a la medición directa o indirecta de las emisiones o absorciones de áreas forestales. La medición indirecta consta de la estimación de reducciones de emisiones usando ecuaciones con base en los datos de las áreas de tierra y los factores de emisión específicos o el uso de modelos complejos que toman en cuenta un número de distintos parámetros que afectan la liberación o secuestro del carbono y otros GEI.

El **Reporte** es la presentación de la información medida de forma transparente y (generalmente) estandarizada. La información reportada se compone de los datos forestales y las estimaciones de GEI y las metodologías usadas para derivarlos, así como cualquier otro asunto relacionado, como por ejemplo, las actividades de aseguramiento de la calidad y el control de calidad (QA/QC) y la estimación de incertidumbres.

La **Verificación** hace referencia a la evaluación (a través de controles internos y externos) de la exhaustividad, consistencia y fiabilidad de la información reportada, mediante un proceso independiente. La verificación proporciona información para mejorar los datos (incluidas las emisiones y absorciones de GEI, así como todos los datos medidos y los parámetros derivados) y contribuye al fomento de la confianza en las estimaciones y tendencias y a un mejor conocimiento científico de las mismas.

Además del MRV, el **monitoreo** es otra actividad de especial importancia para las actividades de REDD+. En general, el monitoreo puede clasificarse como una función de gestión que abarca la revisión de la implementación de objetivos y metas planificadas. Unifica varios objetivos y tiene como meta maximizar los beneficios totales. El monitoreo incluye el MRV, los aspectos de gobernanza y la creación de información sobre la efectividad de las políticas y las prácticas de manejo forestal como parte de la implementación de REDD+.

Los criterios de calidad aceptados internacionalmente están establecidos en la Orientación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2000), en la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (OBP-UTCUTS) (IPCC, 2003) y en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006). De acuerdo con estas directrices, los inventarios de GEI deben ser transparentes, exhaustivos, consistentes, comparables y exactos, como se describe en el Recuadro 2.3.

Para efectos de este manual, el término *arreglos institucionales*, que también abarca los arreglos subnacionales para las jurisdicciones específicas, se define como los procesos y procedimientos que codifican todos los elementos importantes de un sistema de MRV plenamente operativo que cubre todas las tierras y actividades pertinentes a REDD+, de forma que se adhiere a los principios del IPCC y a aquellos relevantes para la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) u otras directrices.

Un beneficio clave de concentrarse en los arreglos nacionales es lograr desarrollar y mantener mejores capacidades técnicas, además de la eficacia, dentro del país, y de instituciones y organizaciones nacionales y regionales relevantes. Se espera que la mejora en las capacidades y la eficacia de las instituciones provean mayores beneficios que no sean solo abordar cuestiones de REDD+. Sistemas forestales de MRV de alta calidad, brindan beneficios para un más amplio monitoreo ambiental, como

puede ser la contabilidad de GEI, el desarrollo económico sostenible y el manejo de recursos naturales. Además, contar con estos arreglos nacionales para sistemas MRV, hace que los países puedan participar en mecanismos financieros futuros, en mercados ambientales o en regímenes o mecanismos voluntarios u obligatorios.

Recuadro 2.3 Atributos de calidad de los inventarios de GEI

Transparencia: Es cuando existe documentación suficiente y clara como para que de manera individual o en grupo, fuera de los que efectúan el inventario, se pueda entender cómo se realizó el inventario y se pueda confirmar la calidad de los datos;

Exhaustividad: Se reportan las estimaciones de todas las actividades y gases relevantes. En los casos en los que falten datos, se debe documentar claramente esa ausencia;

Consistencia: Las estimaciones de distintos años de inventario, gases y categorías se hacen de forma que las diferencias en los resultados entre los años y las actividades reflejen la diferencia real de emisiones. El inventario de las tendencias anuales debe calcularse, en la medida de lo posible, usando el mismo método y las mismas fuentes de datos todos los años y debe tener como objetivo reflejar las fluctuaciones anuales reales de emisiones y no estar supeditado a cambios derivados de diferencias metodológicas;

Comparabilidad: El inventario de GEI se reporta de forma que permita su comparación con inventarios de GEI de otros países; y

Exactitud: En la medida en que se pueda determinar, el inventario de GEI no contiene ni sobreestimaciones ni subestimaciones, y se han reducido las incertidumbres tanto como sea práctico. Para esto, es necesario realizar todos los esfuerzos para eliminar los sesgos en las estimaciones del inventario.

El objetivo de este capítulo es proporcionar las directrices sobre los elementos fundamentales de los arreglos nacionales para que existan sistemas de MRV creíbles y funcionales para las actividades de REDD+. El ámbito de este trabajo está limitado a la MRV de las emisiones y absorciones de GEI como resultado de la influencia humana en las tierras forestales⁵. La información se basa y cumple con las exigencias del IPCC, así como con los elementos relevantes desarrollados en el contexto de la CMNUCC, y, cuando es apropiado, del Protocolo de Kioto.

2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE MRV PARA REDD+

2.2.1 Requisitos para la implementación de REDD+

De conformidad con la Decisión I/CP.16, párrafo 71 (CMNUCC, 2009), los países que se propongan implementar las actividades de REDD+ deben desarrollar: 1) una estrategia nacional o plan de acción; 2) un nivel de referencia de las emisiones forestales o un nivel de referencia forestal nacional (NRE/NR,

⁵ Para obtener más información sobre la preparación de inventarios de GEI, consulte el Capítulo 3 de este manual.

consulte el Recuadro 2.4; 3) un sistema nacional de monitoreo forestal (SNMF)⁶ robusto y transparente; y 4) un sistema para proporcionar información sobre las salvaguardas.

Recuadro 2.4 NRE vs. NR

De conformidad con la Decisión 12/CP.17, “los niveles de referencia de las emisiones forestales o los niveles de referencia forestal, expresados en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año, son puntos de referencia para evaluar el desempeño de cada país en cuanto a la ejecución de las actividades mencionadas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16”.

Las decisiones 4/CP.15 y 11/CP.9 especifican que un SNMF usa una combinación de sensores remotos y enfoques de inventario de carbono forestal basados en trabajo de campo, para la estimación de las emisiones antropogénicas por las fuentes y las absorciones antropogénicas por los sumideros de GEI relacionadas con los bosques, las reservas de carbono forestal y los cambios en el área forestal. Un SNMF también puede proporcionar información relevante a los sistemas nacionales para la obtención de información sobre cómo se están abordando y respetando las salvaguardas (consulte la Decisión 1/CP.16, apéndice I).

Tomando en cuenta las capacidades y potenciales nacionales, un SNMF debe guiarse por la OBP-UTCUTS y proporcionar datos e información que sean transparentes, consistentes con el paso del tiempo y sostenibles para la MRV, como resultado de la implementación de las actividades de REDD+. La Decisión 11/CP.19 también estipula que un SNMF debe:

- Fomentar los sistemas existentes, según proceda;
- Permitir la evaluación de distintos tipos de bosques en el país, incluido el bosque natural, según lo definido por el país;
- Ser flexible y dar paso a mejoras;
- Reflejar, según proceda, el enfoque de fase para la implementación de las actividades de REDD+.

2.2.2 Consideraciones para establecer un Sistema nacional de monitoreo forestal

Mientras desarrollan un SNMF, los países tienen la oportunidad de: fortalecer su gobernanza forestal, incluida la implementación de la ley; considerar medidas contra la deforestación y la degradación forestal; y mejorar el manejo forestal sostenible. El sistema que se desarrollará también puede tomar en cuenta las múltiples funciones de los bosques en cuanto al cambio climático (p. ej., al considerar tanto los beneficios de la mitigación como de la adaptación) para garantizar el manejo integral y sostenible de los bosques. En la mayoría de los casos, el desarrollo de un SNMF tomaría en cuenta, o se guiaría por, varios elementos; enumerados en el Recuadro 2.5. En términos generales, los países deberían:

- Garantizar la cooperación de todas las partes interesadas mediante el establecimiento de arreglos nacionales;

⁶O subnacional (como medida interna).

- Tener un inventario forestal y un análisis del cambio en el uso de la tierra (consulte el Recuadro 2.6);
- Ser capaces de aplicar la orientación revisada de 1996 elaboradas por la OBP-UTCUTS para asegurarse de que sus estimaciones de emisiones y absorciones sean transparentes, exhaustivas, comparables, consistentes y exactas;
- Contar con procedimientos de aseguramiento de calidad y control de calidad (QA/QC) apropiados; y
- Ser capaces de elaborar reportes nacionales verificados localmente.

Recuadro 2.5: Elementos típicos que los países deben tomar en cuenta a la hora de determinar su contexto nacional

El desarrollo histórico de todas las actividades de REDD+ que son relevantes para el país incluidas la deforestación, la degradación forestal, la conservación de las reservas de carbono forestal, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal;

La geografía u otras características particulares que influyen en el desarrollo de las actividades de REDD+ (p.ej., áreas montañosas con acceso limitado o sin acceso, posibles iniciativas regionales necesarias en las que participen países vecinos);

La población que se ve afectada (p.ej., las estadísticas demográficas y de empleo relacionadas con las actividades de REDD+ en el país);

La información relacionada con los factores actuales y previstos que contribuyen a la deforestación, incluidos un análisis relacionado con los causantes de la deforestación y el impacto de las materias primas, como la soya o el aceite de palma en el sector de la silvicultura;

Información económica relacionada con factores que se verán afectados por actividades de REDD+, teniendo en cuenta varios sectores de la economía nacional (incluidos la energía, el transporte, la industria, la minería, el turismo, la agricultura, la pesca, la salud y los servicios);

La educación, incluidas las instituciones de investigación científica y técnica que se centran en temas importantes para REDD+;

Los efectos de esfuerzos anteriores para facilitar el manejo del uso de la tierra y los cambios en la tenencia de las tierras en el país (p.ej., inversiones previas para reducir la deforestación o mejorar la reforestación y las lecciones aprendidas);

Posible sinergia entre actividades y políticas relacionadas con REDD+ y las que están relacionadas con otros sectores, como la energía y la agricultura; y

Los vínculos con las acciones tomadas por el país en el contexto de acuerdos multilaterales relevantes, como la CMNUCC.

Recuadro 2.6 Inventario forestal nacional y análisis en el cambio del uso de la tierra

Un **inventario forestal nacional** es una recolección sistemática de datos y de información forestal para su evaluación y análisis. Una estimación del valor y los posibles usos de la madera es una parte importante de la amplia información necesaria para sustentar los ecosistemas. Cuando se emprende la creación de un inventario forestal, es importante medir y observar los siguientes elementos: especies; el diámetro a la altura del pecho; la calidad del emplazamiento; la edad; y los defectos. De la información recopilada, se puede calcular el número de árboles por unidad de área (p.ej., hectárea, acre), el área basal, el volumen de árboles en un área y el valor de la madera. Los inventarios se pueden crear con propósitos que van más allá de calcular el valor de la madera, p.ej., para proporcionar información exhaustiva sobre el estado y las dinámicas de los bosques a fin de planificar estrategias y el manejo.

Un **análisis histórico del cambio en el uso de la tierra (UT)** es el análisis de las dinámicas que han tenido lugar en un territorio específico. El análisis evalúa y cuantifica el cambio de área de una categoría específica de uso de la tierra (p.ej., tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales) en un periodo concreto de tiempo. La información proporcionada por el análisis del UT, junto con la información proporcionada por el inventario forestal, se integra en el inventario de GEI para estimar las emisiones o absorciones asociadas a las distintas categorías y subcategorías del uso de la tierra. Asimismo, el monitoreo del UT a través de sensores remotos es una herramienta clave para identificar e implementar acciones correctivas en áreas donde existe la deforestación y degradación forestal ilegal.

En el sistema de MRV es importante considerar la compensación entre el costo y la exactitud del monitoreo y los sistemas de evaluación para REDD+. La identificación de soluciones rentables exige un enfoque equilibrado de los sensores remotos y las mediciones en campo. Las imágenes y productos de los sensores remotos, por ejemplo, ayudan en el diseño de esquemas de muestreo de suelo eficientes, en la evaluación del cambio de las áreas y en la extrapolación de mediciones de parcelas a nivel nacional o regional. Por el contrario, las mediciones sobre el suelo son necesarias para generar datos sobre el carbono y para verificar el mapeo forestal asistido por computadora de la imagen obtenida por sensores remotos. Para más información sobre los sensores remotos, consulte el Capítulo 5.

2.2.3 Contabilidad nacional frente a la contabilidad subnacional

Uno de los temas críticos en las negociaciones de la CMNUCC sobre REDD+ tiene que ver con la escala geográfica que debería usarse para contabilizar las emisiones. Se han debatido minuciosamente tres opciones: el nivel nacional; el nivel subnacional, incluyendo el nivel de jurisdicción y proyecto; y ambos niveles, en un “enfoque anidado”. Las distintas opiniones expresadas por los gobiernos son el resultado de intereses políticos y circunstancias nacionales diferentes, y de problemas técnicos a la hora de medir y contabilizar las emisiones.

En la decimoséptima sesión de la Conferencia de las Partes (COP.17), los gobiernos acordaron que aun cuando el desempeño general se mide a nivel nacional, los países podrían realizar actividades a nivel de proyecto, después de adoptar niveles de referencia nacionales (y posiblemente subnacionales) (CMNUCC, 2011). Para aquellos países que quieran establecer sistemas de contabilización nacionales y subnacionales, es importante garantizar que ambos sistemas sean compatibles para salvaguardar la integridad del proceso general de contabilidad. Esto puede lograrse mediante:

- La identificación de los causantes de la deforestación y la degradación forestal a nivel nacional y subnacional;
- El establecimiento de un claro marco jurídico, regulatorio y de contabilidad sobre la implementación de actividades subnacionales o de proyecto;
- La identificación de sinergias entre actividades nacionales y subnacionales de REDD+; y
- La garantía del uso consistente de las definiciones de los parámetros forestales.

Para que haya un “enfoque anidado”, los programas a nivel de proyecto o subnacionales deberían estar integrados en una contabilidad a nivel nacional. La integración puede darse en fases (p.ej., comenzar con la contabilidad subnacional y avanzar hasta la nacional) o una vez que la contabilidad nacional se haya realizado. La contabilidad a nivel nacional proporciona una imagen completa de cómo los proyectos, políticas y medidas contribuyen al progreso de un país a la hora de reducir emisiones. Asimismo, tiene un papel importante para ayudar a obtener el financiamiento para aquellos proyectos que puedan depender de resultados medibles, reportables y verificables.

2.3 FUNCIONES Y COMPONENTES IMPORTANTES DE LOS ARREGLOS NACIONALES

En términos generales, los arreglos nacionales para un sistema MRV de REDD+ deberían incluir todos los arreglos institucionales, jurídicos y de procedimiento realizados dentro de un país para estimar las emisiones antropogénicas derivadas de las fuentes y absorciones por los sumideros, en todas las categorías y actividades incluidas en el plan de monitoreo y para reportar y archivar información. Los arreglos nacionales deben diseñarse de modo que incorporen tanto las funciones generales como las específicas y deben funcionar de forma que aseguren la transparencia, consistencia, comparabilidad, exhaustividad y exactitud de los datos, así como la calidad de la información mediante la planificación, preparación y gestión de las actividades de inventario.

La información de las funciones de los arreglos nacionales en esta sección ha sido adaptada de las Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes incluidas en el anexo I de la Convención, parte I: Directrices de la Convención Marco para la presentación de informes sobre los inventarios anuales de gases de efecto invernadero (Anexo I a la Decisión 15/CP.17) y la directriz proporcionada por el Grupo Consultivo de Expertos sobre las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el Anexo I de la Convención (CGE). Aunque la Decisión 15/CP.17 se aplica a las Partes incluidas en el Anexo I, las cláusulas contempladas en la misma sobre arreglos nacionales se aplicarían generalmente a todos los países.

2.3.1 Funciones generales

Las principales funciones generales de los arreglos nacionales de inventario son: designar **una entidad⁷ única a nivel nacional con todas las responsabilidades** para el inventario; y establecer y mantener los arreglos institucionales, jurídicos y de procedimientos entre las agencias gubernamentales y otras entidades que participen en la preparación de la estimaciones de emisiones y absorciones del UTCUTS.

⁷ Otros términos para este órgano designado son: entidad nacional, agencia líder a nivel nacional y centro de referencia.

Al hacerlo, existe la necesidad de garantizar la capacidad suficiente y la competencia técnica del personal involucrado en el proceso de desarrollo del inventario para:

- La recolección puntual de datos necesarios para estimar las emisiones antropogénicas de GEI por las fuentes y las absorciones de GEI por los sumideros; y
- La preparación de inventarios de GEI, de conformidad con las directrices de reporte relevantes de la CMNUCC.

2.3.2 Funciones específicas

Las funciones específicas de los arreglos nacionales de inventario incluyen la recolección de datos de la actividad (DA), la selección de métodos y factores de emisión (FE) apropiados, la estimación de las emisiones antropogénicas de GEI por fuentes y las absorciones por los sumideros, la implementación de estimaciones de incertidumbre y de actividades de aseguramiento de calidad y control de calidad (QA/QC), y la realización de procedimientos de verificación de datos.

2.3.3 Fases de implementación

La implementación de los arreglos nacionales de un sistema de MRV de REDD+ se compone de tres fases: la planificación del inventario, la preparación del inventario y el manejo del inventario.

Planificación del inventario

La planificación del inventario incluye actividades que guían hacia la implementación de actividades de MRV. Como parte de la planificación del inventario, el país definirá y asignará responsabilidades específicas en el proceso de desarrollo del inventario, incluido el papel de las agencias gubernamentales y otras entidades que participen en la preparación del inventario, y la cooperación entre ellas, así como los arreglos institucionales, jurídicos y de procedimientos realizados para preparar el inventario. Los países deben garantizar que existe la capacidad suficiente para llevar a cabo todas las actividades mediante la capacitación del personal o la contratación de expertos.

De conformidad con la OBP-UTCUTS, los países deberían considerar formas de mejorar la calidad de los DA, FE, métodos y otros elementos técnicos relevantes del inventario una vez que se hayan establecido inicialmente. Esto puede lograrse mediante la elaboración de un plan de QA/QC del inventario. La información obtenida de la implementación del plan de QA/QC, y otras actividades de verificación, debe ser tomada en cuenta a la hora de elaborar o revisar los datos de GEI y los objetivos de calidad del inventario de GEI.

Como parte de la planificación del inventario, habría que establecer procesos para el análisis y aprobación oficiales del inventario, incluyendo cualquier recálculo. Con base en las evaluaciones periódicas del proceso de preparación del inventario (consulte la sección siguiente), los países tendrían que reevaluar y ajustar, de ser necesario, el proceso de planificación del inventario.

Preparación del inventario

La preparación del inventario incluye todos los aspectos de la implementación de las acciones de MRV, así como su organización en un formato de reporte. Como parte de la preparación del inventario, un país tiene que recopilar suficientes DA, información sobre los procedimientos y FE, según sea necesario, para apoyar los métodos seleccionados para estimar emisiones y absorciones antropogénicas de GEI. En la orientación revisada de 1996 del IPCC, tal como fueron actualizadas por la OBP-UTCUTS, se establece la base metodológica para la estimación de emisiones y absorciones de GEI.

Un área de especial importancia es la implementación de procedimientos de QA/QC generales del inventario según el plan de QA/QC, siguiendo la directriz proporcionada por la OBP-UTCUTS. Los países tendrían que aplicar procedimientos de QC específicos a las categorías en las categorías principales (consulte el Recuadro 2.7) y para las categorías individuales en las que se han realizado revisiones metodológicas o de datos significativas. Asimismo, tendrían que proporcionar una revisión básica del inventario realizada por personal que no haya participado en el proceso de desarrollo del inventario, de preferencia un tercero independiente, antes de presentar el inventario, según lo estipulado en los procedimientos planificados de QA. Tras la revisión básica, deben establecerse cláusulas para que expertos revisen a profundidad las categorías principales, así como las categorías donde se han realizado cambios considerables a los métodos o a los datos.

Recuadro 2.7: Categorías principales

Según el IPCC, una categoría principal es una que tiene prioridad dentro del sistema nacional de inventario, porque su estimación tiene una influencia considerable en el inventario total de GEI de un país en cuanto al nivel absoluto, tendencia o incertidumbre de emisiones y absorciones. Cuando se utiliza el término *categoría principal*, éste incluye las categorías de fuente y las de sumidero, así como los GEI específicos. En términos de nivel absoluto, las categorías principales son todas las actividades de inventario que contabilizan por el 95 % del total de las emisiones de GEI.

Para más información, consulte el Capítulo 3 del manual y la sección 5.4 del IPCC OBP-UTCUTS (IPCC, 2003).

Gestión del inventario

La gestión del inventario hace referencia al manejo del reporte del inventario y su información de fuentes relevantes una vez que se haya completado un ciclo de inventario. Como parte del manejo del inventario, el país archivará toda la información relevante del inventario sobre las series cronológicas reportadas, incluidos todos los FE desglosados y los DA junto con las explicaciones del por qué se seleccionaron esos factores y datos, y cómo se han generado y agregado para la preparación del inventario. Entre la información que debe archiversse se encuentra:

- Una descripción de los métodos usados para la identificación de las categorías principales;
- La explicación de cómo se han implementado los procedimientos de QA/QC; y
- Los hallazgos de las revisiones externas e internas y las descripciones de las mejoras al inventario planificadas como resultado de estas revisiones.

Otra parte del manejo del inventario es asegurarse de que el país tenga la capacidad de responder de forma oportuna a las peticiones de clarificación de información sobre el inventario nacional. Muchos países tienen sistemas bien establecidos de recolección y procesamiento de información relacionada con gases que no son GEI. Esos sistemas cuentan con procesos de manejo de bases de datos para archivar los datos y la información. La experiencia en el uso de dichos sistemas sería de gran utilidad al aplicarse al desarrollo de inventarios de GEI y al fortalecimiento de los procedimientos para archivar, guardar y recuperar la información. Los países deberían tomar en cuenta su experiencia en otras áreas, y usarla como orientación y recurso sobre este tema. La extensión del ciclo de un inventario depende de las circunstancias nacionales y las exigencias de reporte. En el diagrama de la Figura 2.1, aparece un ejemplo de un ciclo de inventario. Ese ciclo puede aplicarse a periodos anuales, bienales o más largos⁸.

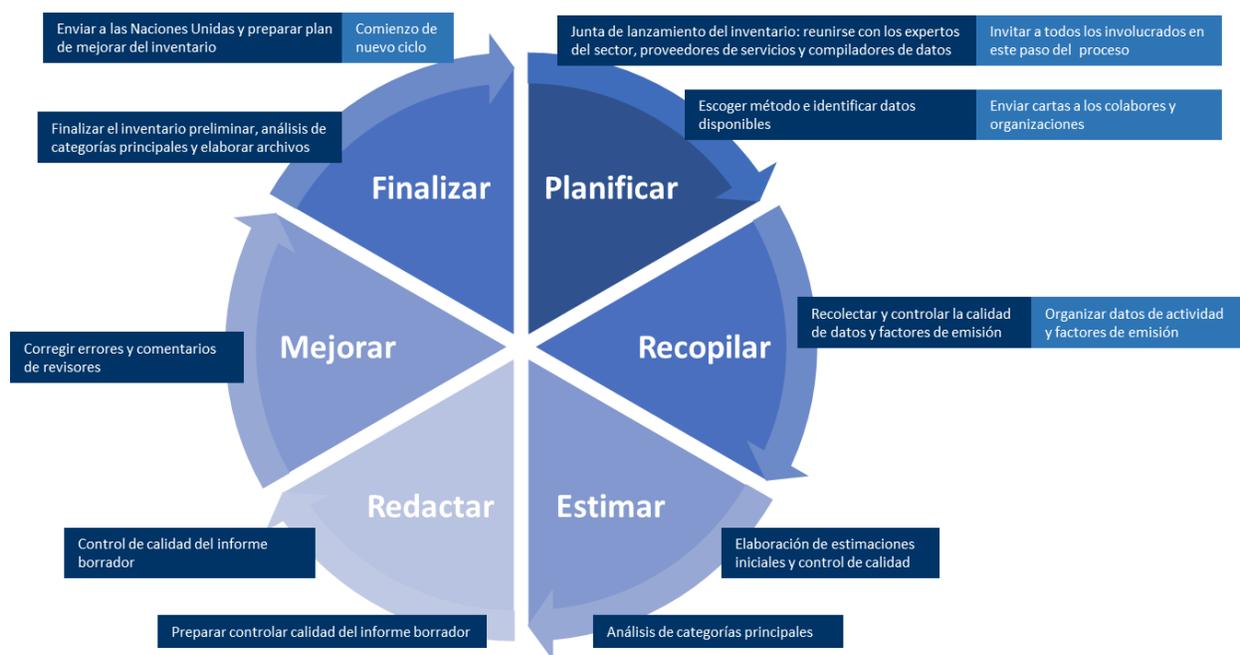


Figura 2.1: Ciclo típico de un proceso de inventario (fuente: Formulario del Sistema Nacional de la EPA). Para obtener más información, consulte la sección 2.6.

2.4 PASOS PARA ESTABLECER ARREGLOS NACIONALES

La Decisión 10/CP.19 afirma que los países podrían “designar, de conformidad con sus circunstancias nacionales y los principios de soberanía, una entidad o funcionario nacional que actúe como enlace con la secretaría y los organismos pertinentes de la Convención, según corresponda, en lo relativo a la coordinación del apoyo a la plena realización de las actividades y los elementos a que se hace referencia en la decisión 1/CP.16, párrafos 70, 71 y 73, incluidos distintos enfoques de políticas, como los enfoques conjuntos de mitigación y adaptación, y a informar a la secretaría al respecto”. Más adelante, la misma decisión estipula que estas entidades “podrán, de conformidad con sus circunstancias nacionales y los principios de soberanía, nombrar a sus propias entidades para obtener y recibir pagos basados en los resultados, conforme a las modalidades operacionales específicas de las entidades de financiación que les

⁸ Merece la pena mencionar que los datos del inventario forestal nacional no estarían disponibles anualmente, si no, cada pocos años (generalmente de entre tres a diez años).

brinden apoyo para la plena realización de las actividades a que se hace referencia en la decisión I/CP.16, párrafo 70”.

Con base en la experiencia de otros procesos similares de conformidad con la CMNUCC (como las comunicaciones nacionales de países en desarrollo), en la implementación de actividades de REDD+ participan muchos actores nacionales y partes interesadas que apoyan el trabajo de una entidad nacional o punto focal. Dada la naturaleza interdisciplinar de REDD+, los arreglos institucionales pueden fortalecer el proceso de elaboración de políticas nacional al mejorar la coordinación de todos los actores relevantes, al aumentar la concientización entre instituciones públicas y privadas y al facilitar las consultas y establecer relaciones entre los actores.

Establecer arreglos institucionales incluye un número de actividades específicas que dependen de las metas de MRV que un país haya identificado, incluidos entre otros: la preparación de reportes nacionales y comunicaciones para cumplir con los compromisos internacionales; buscar financiamiento para los proyectos de REDD+; e implementar iniciativas nacionales o regionales de REDD+.

A la hora de establecer arreglos nacionales, los países tendrían que identificar acciones específicas que concuerden con las metas de MRV y desarrollar un plan para su implementación, como por ejemplo, asegurar los recursos y compromisos de todas las partes interesadas del país. Esto puede incluir la creación de grupos de trabajo y fuerzas de trabajo que realicen tareas específicas, así como establecer sistemas y procedimientos específicos para la recolección y el almacenamiento de datos. Para asegurar la oportuna implementación, es necesario identificar las capacidades nacionales existentes y destinar de fondos necesarios, así como de recursos humanos y de otro tipo.

Una vez que se han identificado las acciones específicas, el país tendría que implementar los arreglos administrativos y organizativos necesarios. Es probable que cada país tenga su propio enfoque sobre cómo establecer estos arreglos para REDD+. Algunos de los enfoques típicos son:

- Externalizar completamente el proceso de preparación del inventario a una organización externa, como una compañía consultora, una universidad o un instituto de investigación;
- Un reducido equipo de empleados del gobierno debe supervisar la preparación del inventario hecho por varios consultores e investigadores;
- Formar un órgano de supervisión o de consulta que esté compuesto por representantes de distintas agencias y ministerios y, posiblemente, de otras organizaciones, como las no gubernamentales (ONG), el mundo académico u otros del sector privado, que tomen decisiones y supervisen el proceso de preparación del inventario;
- Que la preparación del inventario la realicen casi por completo empleados del gobierno dentro de una misma agencia; y
- Que la preparación del inventario quede delegada a las provincias o estados del país. La información del inventario obtenida por cada provincia se suma después a nivel nacional.

Se pueden dar muchas otras situaciones, incluidas combinaciones de las ya mencionadas, y no existe un enfoque completamente correcto. Cada enfoque tiene ventajas y desventajas, así como implicaciones financieras y de personal. Cualquier enfoque que se utilice debe funcionar de forma tal que se mantenga

la calidad del inventario, que éste se mejore con el tiempo y que las decisiones puedan realizarse de forma oportuna y efectiva.

En cualquier enfoque que se tome, en términos de arreglos administrativos y organizativos, el proceso requiere el desarrollo de responsabilidades y funciones claras. La agencia o instituto líder a nivel nacional debería encargarse de las responsabilidades generales, posiblemente exigidas por la legislación nacional, del manejo de un sistema de MRV de REDD+, quizás como un subgrupo de un inventario de GEI más exhaustivo. Es importante que se identifique el organismo apropiado en las primeras etapas del proceso para facilitar la elección del personal y la delimitación de las funciones y responsabilidades específicas. El nombramiento debe ser transparente para todas las partes interesadas en el proceso para que no haya ambigüedades sobre qué institución encabeza el proceso.

En términos generales, este órgano institucional tendrá que gestionar el trabajo de otras instituciones y organizaciones y tendrá toda la responsabilidad de coordinar los arreglos administrativos y técnicos y la calidad general de las estimaciones reportadas. El sistema de manejo que usa un país estará condicionado por las circunstancias nacionales. Algunos patrones comunes incluyen:

- **Centralizado vs. descentralizado:** La agencia líder del país puede ejercer mucho control y autoridad en la toma de decisiones para el proceso de preparación del inventario. Un enfoque centralizado podría incluir algunas otras instituciones. Por el contrario, un enfoque descentralizado puede incluir muchos equipos o instituciones diferentes que trabajan en distintas partes del inventario y toman sus propias decisiones en cuanto a las metodologías y otros asuntos. Los países con una administración grande y varias instituciones con experiencia en ciertas áreas del inventario suelen usar el enfoque descentralizado. En dichos casos, la agencia líder generalmente tiene una función más coordinadora y con menos poder sobre las decisiones en temas metodológicos.
- **Internalización vs. externalización:** Las agencias gubernamentales y empleados pueden preparar la mayor parte, o todo el inventario, siguiendo, por lo tanto, un enfoque de “internalización”. De forma alternativa, el gobierno puede “externalizar” el trabajo de preparación del inventario a consultores privados, instituciones de investigación, instituciones académicas u otras ONG, por ejemplo. La decisión de externalizar depende de si la administración ha desarrollado la capacidad y el potencial suficientes para realizar todo el trabajo técnico, o la mayor parte de él, por sí misma, mediante la participación de expertos y agencias. Generalmente, los países más pequeños recurren al uso extensivo de asistencia externa debido a la falta de experiencia y tiempo necesarios para fomentar las capacidades en un marco de tiempo específico para la preparación de un inventario de GEI.
- **Uniinstitucional vs. multiinstitucional:** La agencia principal puede albergarse dentro de una agencia gubernamental uninstitucional o el organismo principal del país puede estar compuesto por un grupo de trabajo, comité u otra estructura multiinstitucional. Una estructura multiinstitucional necesita de una clara delimitación de las funciones y responsabilidades para garantizar que la línea de reporte y la toma de decisiones sobre temas relacionados con el inventario de GEI es clara. Aunque el enfoque multiinstitucional puede tener algunas ventajas relativas debido a la pluralidad en el proceso de toma de decisiones, en la práctica, una agencia tendrá con frecuencia la función general de coordinación, para evitar conflictos.
- **Integrado vs. separado:** El trabajo del inventario de GEI del país puede formar parte de otros esfuerzos relacionados (p.ej., la reducción de las amenazas a la biodiversidad, el manejo del agua,

la prevención de la erosión del suelo) para garantizar el mejor uso de los recursos y de la experiencia disponible.

Mientras se desarrolla un sistema de MRV para las actividades de REDD+, el país tiene la oportunidad de identificar las prioridades y objetivos nacionales y regionales de desarrollo que servirán como base para hacer frente a REDD+ y el cambio climático. Esta información proporcionaría el trasfondo para ayudar al país a entender mejor sus condiciones específicas, tal como las opciones disponibles y existentes de capacidades nacionales para tratar las emisiones y absorciones de GEI de REDD+ en un contexto más amplio de desarrollo sostenible.

Es de suma importancia que en cada paso del proceso, los países registren las funciones y responsabilidades específicas de todas las organizaciones relevantes, así como los cambios en los arreglos, ya sean mejoras o la participación de nuevas partes interesadas. Una forma de hacerlo sistemáticamente es a través del uso de los Formularios del Sistema Nacional de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA); ver la sección 2.6 a continuación. Aunque estos formularios se han desarrollado para abordar los arreglos nacionales de un inventario nacional de GEI y abarca todos los sectores económicos, es posible modificarlos para que sirvan el propósito de un inventario de GEI en el uso de la tierra, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS). En el Apéndice 2 aparece una breve descripción de los formularios y un ejemplo de cómo pueden modificarse.

2.5 EJEMPLOS

En esta sección, se presentan ejemplos de arreglos institucionales de Brasil, Colombia y la India para la preparación de inventarios de GEI para el sector del UTCUTS. La información de esta sección se fundamenta en las Series de Estudio de Caso⁹ del Proyecto de Seguimiento de la Medición y el Rendimiento del Inventario Nacional de GEI del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés).

2.5.1 Brasil

La Fundación para la Ciencia, Aplicaciones y Tecnología Espacial (FUNCATE) era la única institución a cargo de recopilar un inventario del UTCUTS de Brasil, junto al Coordinador General sobre el Cambio Climático Mundial bajo el Ministerio Brasileño de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCT). FUNCATE tenía un claro mandato establecido mediante un contrato o acuerdo de cooperación que establecía los términos individuales de referencia, los horarios, costos y responsabilidades. FUNCATE participó con otras agencias, asociaciones e instituciones académicas y de investigación, pero no subcontrató ninguno de los componentes del inventario del UTCUTS.

Cuarenta y cinco miembros del personal trabajaron en las distintas etapas de desarrollo del inventario (veintidós intérpretes de imagen, un coordinador general, siete administradores, cinco responsables del análisis y la validación de datos, un experto en informática, tres encargados del desarrollo de sistemas, tres auditores, un experto en desarrollo de bases de datos, un experto en manejo de bases de datos y un especialista en documentación). La experiencia obtenida del primer inventario nacional y las nuevas demandas de la aplicación de la OBP-UTCUTS contribuyeron a identificar el nivel inicial de recursos humanos que se necesitaba. Sin embargo, conforme progresó el trabajo, FUNCATE señaló la necesidad

⁹ Los reportes completos están disponibles en: <https://sites.google.com/site/maptpartnerresearch/national-ghg-inventory-case-study-series/producing-a-national-ghg-inventory-for-the-land-use-land-use-change-and-forestry-lulucf-sector>.

de agrandar el equipo, que varió de tamaño según la fase de desarrollo del proyecto. Por ejemplo, fue necesario un gran número de intérpretes de imagen al principio del proyecto, pero después, fueron destinados a realizar otro trabajo dentro de FUNCATE o fueron despedidos. El número de personas que participaba dependía del plazo de entrega y el presupuesto. Cada vez que FUNCATE contrataba a alguien nuevo, se realizaba su capacitación, para garantizar la consistencia en la clasificación de imágenes entre los distintos intérpretes de imagen y, por consiguiente, minimizar la incertidumbre en la clasificación.

La coordinación del inventario en FUNCATE la llevó a cabo una persona con experiencia en sensores remotos, cuyo papel era supervisar el desarrollo del inventario en todas sus fases (incluida la compilación de datos de GEI para el inventario del UTCUTS), asegurarse de que los gastos del presupuesto y el plazo acordado fueran conforme lo acordado en el contrato y el acuerdo de cooperación con el MCT, llevar a cabo procedimientos de QC adicionales y preparar los reportes parciales y finales. Esta persona tenía conocimiento general del desarrollo del inventario y participó de forma activa en todas las fases.

Ninguna persona externa a este proceso participó de forma directa en la preparación del inventario, a parte de las que forman parte de FUNCATE, el MCT y el Instituto Nacional de Investigación Especial de Brasil (INPE). Durante la elaboración del proyecto (p.ej., la clasificación de imágenes), el personal trabajó a tiempo completo hasta que terminó esa actividad. Otras personas, como los que participaron en el desarrollo del sistema, trabajaron simultáneamente en otros proyectos de FUNCATE. La mayoría del personal participó a tiempo completo en el proyecto.

El inventario del UTCUTS fue el más costoso entre todos los sectores reportados en el inventario nacional de GEI. En concreto, el segundo inventario tuvo un costo añadido debido a los nuevos requisitos metodológicos de la OBP-UTCUTS. Parte de este costo adicional se debió a la decisión de crear bases de datos espacialmente explícitas y el carácter exhaustivo de la cobertura territorial necesaria para incluir otras categorías de uso de la tierra previamente no consideradas (p.ej., la tala selectiva). La idea era crear una base de datos que facilitara la actualización y el recálculo de las estimaciones de inventario previas, de ser necesario. Esto requería la cobertura exhaustiva con datos de la resolución adecuada recogidos con sensores remotos. El costo total del segundo inventario nacional fue de aproximadamente un millón cien mil dólares distribuidos entre el acuerdo de cooperación y el contrato. El costo incluía los salarios y los beneficios laborales, el equipo, los bienes de consumo, los gastos de viaje, la construcción de bases de datos y parte del desarrollo de un programa informático para gestionar los grupos de datos grandes. El presupuesto no contemplaba la adquisición de datos, a parte de los planificados en virtud de los instrumentos jurídicos. Todos los costos para cada fase del proyecto fueron detallados por FUNCATE, lo que ayudó al MCT a priorizar las actividades, eliminar las que no se consideraban relevantes para el producto final y decidir la distribución final del presupuesto total para el UTCUTS.

La mayoría de los fondos procedían del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) y del MCT. El Ministerio de Medio Ambiente garantizó una pequeña parte del presupuesto. No se contrataron consultores para el proyecto.

2.5.2 Colombia

Colombia ha preparado dos comunicaciones nacionales de conformidad con la CMNUCC. Aunque el método de trabajo para preparar estas comunicaciones ha sido eficaz, el proceso, la familiarización con las directrices y la adquisición de datos empiezan desde cero para cada inventario de GEI, ya que no

existe una plataforma técnica centralizada para compartir e intercambiar la información con otras instituciones relacionadas con el UTCUTS de forma permanente, eficiente y puntual. El único sistema nacional que existe, el Sistema Nacional Ambiental de Colombia (SINA) consta de un grupo de principios generales que se centran en los principios medioambientales para promover el manejo de los recursos naturales del país. La falta de un sistema para intercambiar datos también dificulta la implementación de procedimientos nacionales exhaustivos de QC. Se está considerando la opción de que tanto las instituciones nacionales como regionales responsables de la recolección, compilación, análisis y sistematización de la información forestal desarrollen los mecanismos de revisión para controlar el flujo de información; de esta forma mejorarían la calidad, frecuencia y disponibilidad de los datos reportados. Asimismo, sería necesario identificar los datos prioritarios a nivel nacional, regional y local necesarios como aporte básico para la investigación y para el cumplimiento de los compromisos internacionales. A continuación, se proporcionan más detalles sobre los sistemas generales implementados.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), institución pública parte del Ministerio colombiano de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), es el responsable de gestionar el inventario de GEI. El IDEAM es el responsable de seleccionar instituciones públicas y privadas que participen activamente en los sectores relacionados con el inventario (p.ej., energía, transporte, desechos, industria, agricultura y UTCUTS) para crear grupos de trabajo por sectores. El objetivo final de los grupos de trabajo es definir las necesidades y prioridades de cada sector y seleccionar FE y métodos para calcular la incertidumbre asociada a cada módulo.

Asimismo, El IDEAM proporciona apoyo técnico y científico a las agencias que constituyen el SINA — grupo de normas, regulaciones, actividades, recursos, programas e instituciones que promueve el cumplimiento de los principios ambientales integrados en la Constitución colombiana—. El SINA se compone de varias instituciones a nivel local, regional y nacional que, de forma colectiva, generan información, llevan a cabo investigaciones científicas y construyen capacidades tecnológicas para fines propios. Sin embargo, el SINA no cuenta con ninguna plataforma técnica para intercambiar información en línea. Por lo tanto, cada una de las instituciones recopila y archiva los datos en su propio portal.

Los arreglos institucionales tienen como base acuerdos voluntarios entre las siguientes organizaciones: MADS, el Ministerio colombiano de Agricultura y Desarrollo Rural, la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, Corporaciones Autónomas Regionales de Colombia, universidades, entidades privadas (p.ej., Pizano S.A., Cartón de Colombia, etc.), el Instituto amazónico de investigaciones científicas, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Jardín Botánico José Celestino Mutis de Bogotá, el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales de Colombia y el Sistema Integrado de Monitoreo Integrado de Cultivos Ilícitos. Actualmente, el desarrollo del inventario de GEI se compone de los pasos ilustrados en la Figura 2.2.

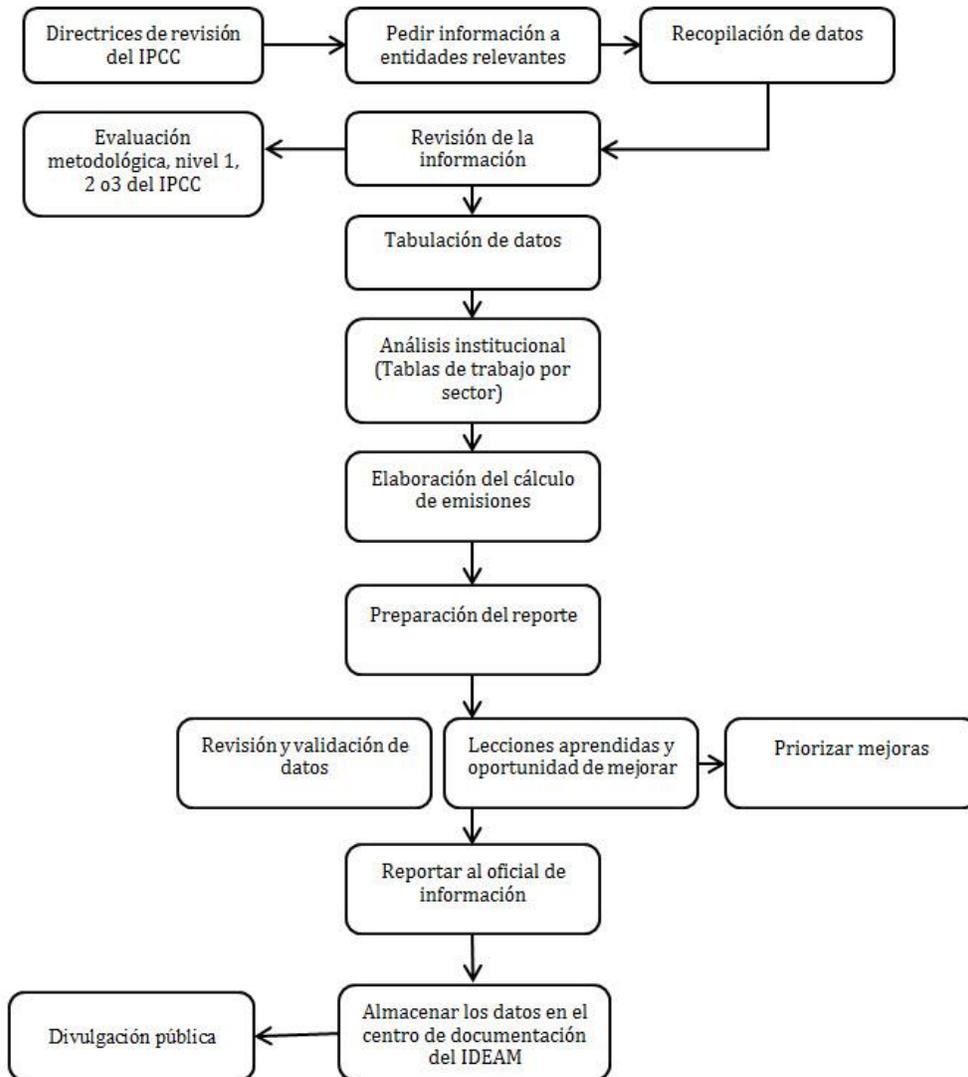


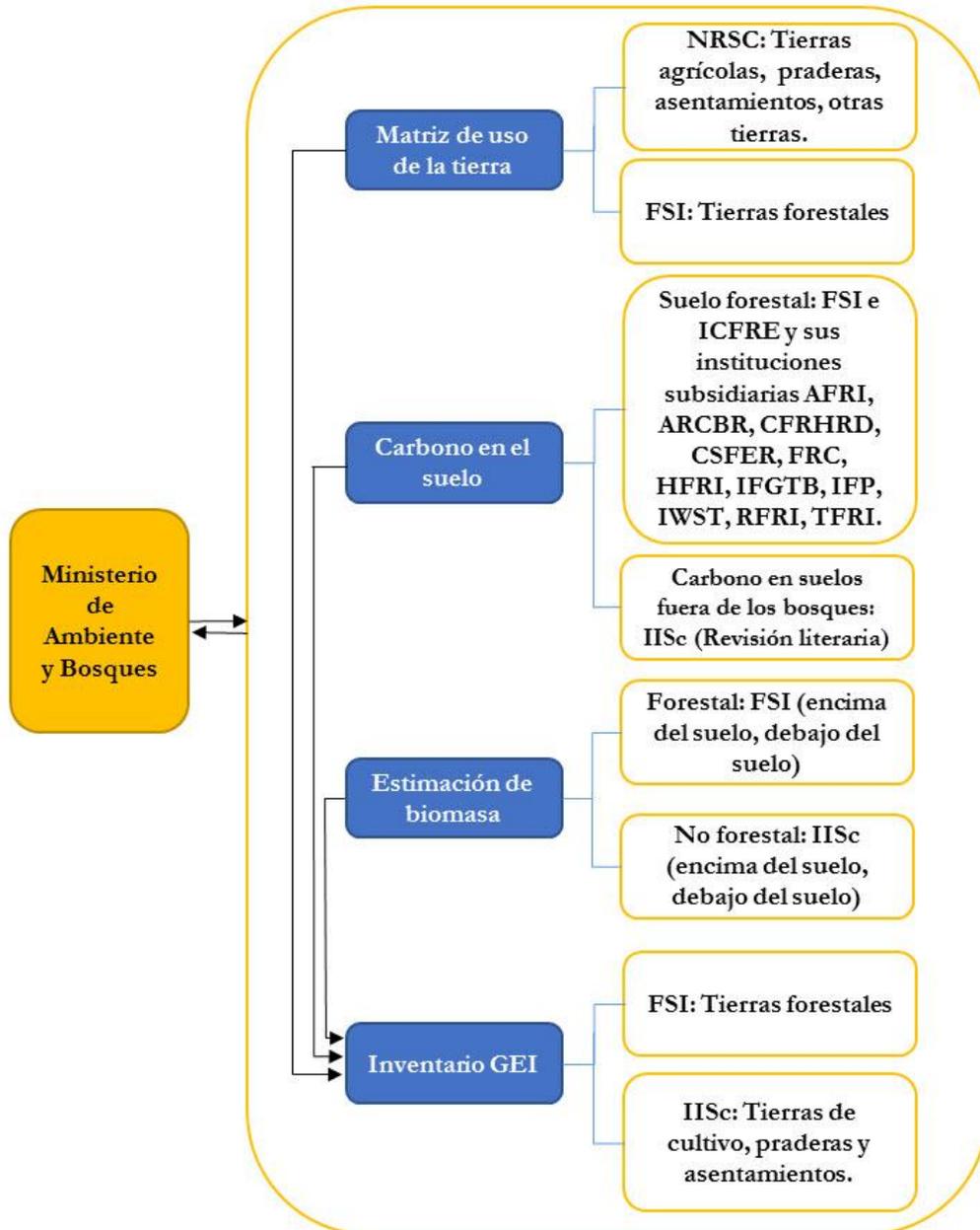
Figura 2.2: Pasos clave para la preparación de un inventario nacional en Colombia

2.5.3 India

La estructura general de los arreglos nacionales de la India para la preparación de estimaciones de GEI para el sector UTCUTS se muestra en la Figura 2.3. El Ministerio de Medio Ambiente y Bosques es responsable de la coordinación general del proceso. Otras instituciones que participan en el sector UTCUTS proporcionan apoyo técnico y experiencia para garantizar que todos los procesos metodológicos se cumplan, a fin de desarrollar un inventario exhaustivo y exacto en la medida en que las capacidades lo permitan.

Los procesos de coordinación han evolucionado con los años. Inicialmente, el Instituto Indio de Ciencia tomó el papel de liderazgo, ya que era la institución que participaba en los procesos del IPCC para desarrollar el inventario de emisiones de GEI para el sector UTCUTS. El enfoque actual implica la cooperación con otras organizaciones como la Evaluación Forestal de la India (FSI, por sus siglas en inglés), el Centro Nacional de Sensores Remotos y el Consejo Indio de Investigación Agrícola y

Educación, que se reúne de forma regular para decidir las funciones respectivas y establecer dichas funciones, y para garantizar que todas las actividades se implementen de forma puntual.



IFGTB: Instituto de Genética Forestal y Arboricultura, Coimbatore; IWST: Instituto de Ciencias de la Madera y Tecnología, Bangalore; TFRI: Instituto Tropical de Investigación Forestal, Jabalpur; RFRI: Instituto de Investigación de la Selva, Jorhat; AFRI: Instituto de Investigación del Bosque Árido, Jodhpur; HFRI: Instituto de Investigación Forestal del Himalaya, Shimla; IFP: Instituto de Productividad Forestal, Ranchi; CSFER: Centro para la rehabilitación forestal social y ecológica, Allahabad; CFRHRD: Centro de desarrollo del recurso humano e investigación de la silvicultura, Chhindwara; FRC: Centro de Investigación Forestal, Hyderabad; ARCBR: Centro de Investigación Avanzada del Bambú y el Ratán, Aizawl; IISc: Instituto Indio de Ciencia; FSI: Encuesta Forestal de la India; NRSC: Centro Nacional de Sensores Remotos.

Figura 2.3: Reparto del trabajo e implementación de arreglos para la elaboración del inventario de emisiones de GEI causado por fuentes y absorciones por sumideros para el sector UTCUTS de la India.

El financiamiento de todas las actividades es parte del Programa Internacional Geósfera-Biósfera Indio de la Organización India de Investigación Espacial. Por ejemplo, a la División de manejo de recursos naturales, que se encarga del mapeo del uso de la tierra, se le ha otorgado un presupuesto de 537,4 millones de rupias (o 9,95 millones de dólares) para el periodo 2012-2013 (Presupuesto Unión, 2012-2013), en comparación con los 68,75 millones de rupias (o 1,27 millones de dólares) que se destinaron a la preparación de todo el inventario de emisiones de GEI para la segunda comunicación nacional, repartido en cuatro años.

De manera similar, la elaboración del inventario de emisiones de GEI es parte del mandato del FSI y ha sido financiado mediante el presupuesto forestal y de fauna del Ministerio de Medio Ambiente y Bosque, la organización matriz de FSI. La inversión presupuestaria de su División Forestal y de Fauna es de 9066,8 millones de rupias (o 167 millones de dólares) para 2012-2013 (Presupuesto Unión 2012-2013). El Instituto Indio de Ciencia (IISc) también fue financiado a través de la segunda comunicación nacional y otras muchas fuentes, incluidos fondos gubernamentales, bilaterales y multilaterales.

2.6 FORMULARIOS DEL SISTEMA NACIONAL DE LA EPA

Los países pueden utilizar los Formularios del Sistema Nacional de la EPA como un conjunto de componentes para crear un sistema de manejo del inventario nacional¹⁰. Las ventajas de los formularios son que:

- Se centran en documentar la información esencial en un formato conciso y evita los reportes escritos excesivamente largos;
- Estandarizan las tareas, lo que le permite a los países comparar y contrastar resultados entre distintas regiones;
- Aseguran que se entiendan las responsabilidades y funciones;
- Se adaptan a distintos niveles de capacidad nacional;
- Proporcionan un sistema objetivo y eficaz para identificar las prioridades a fin de mejorar más adelante;
- Sirven como manuales de enseñanza y como punto de partida para futuros equipos de inventario; y
- Crean transparencia en el sistema nacional de un país y mejora la calidad con el tiempo.

Los seis formularios (descritos brevemente a continuación) pueden recopilarse en un único Reporte del Sistema de Inventario Nacional, generalmente de menos de 50 páginas, que proporciona documentación exhaustiva de cada uno de los componentes fundamentales que conforman el sistema nacional. La

¹⁰ Para más información y saber cómo descargar los formularios, consulte la página:
<http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/internationalpartnerships/capacity-building.html#National>

herramienta del análisis de categoría principal (ACP) puede utilizarse para determinar las categorías fundamentales de un inventario de GEI.

Formulario 1: Arreglos institucionales para el sistema de inventario nacional

Este formulario asiste a los equipos de inventario a la hora de evaluar y documentar los puntos fuertes y débiles de los arreglos institucionales para el desarrollo del inventario. Así se garantiza la continuidad e integridad del inventario, se promueve la institucionalización del proceso de inventario y se facilita la priorización de mejoras futuras.

Formulario 2: Métodos y documentación de datos

Este formulario asiste a los equipos de inventario a la hora de documentar y reportar el origen de las metodologías, bases de datos de la actividad y los FE utilizados para estimar las emisiones o absorciones. Los equipos de inventario futuros pueden consultar el formulario completo para cada categoría de fuente y sumidero a fin de determinar qué información fue recabada, cómo se obtuvieron los datos y qué métodos se usaron.

Formulario 3: Descripción de los procedimientos de QA/QC

Este formulario guía a los países mediante el establecimiento de un programa de QA/QC económico para mejorar la transparencia, consistencia, comparabilidad, exhaustividad y confianza de los inventarios nacionales de GEI. Se han desarrollado listas de verificación adicionales con los procedimientos de QA/QC recomendados para el coordinador del inventario y el coordinador de QA/QC.

Formulario 4: Descripción del sistema de archivo

Un sistema de archivo es un paso económico, pero crucial para la sostenibilidad del Sistema de Inventario Nacional. Un sistema de archivo permite que las estimaciones se reproduzcan fácilmente, ofrece un sistema de seguridad contra la pérdida de datos e información y permite la reproductibilidad de las estimaciones.

Formulario 5: Análisis de categoría principal (ACP)

De conformidad con los criterios del IPCC, el ACP proporciona información sobre qué fuentes o sumideros son más importantes, para que los esfuerzos de mejora se concentren en ellos. La herramienta del ACP le permite al país determinar las categorías principales de un inventario de GEI.

Formulario 6: Plan de Mejora del Inventario Nacional

En él se resumen los hallazgos y se describen las prioridades específicas para proyectos futuros de fomento de capacidades, con base en las necesidades identificadas en los primeros cinco formularios y facilita las mejoras continuas del inventario.

Ejemplo de cómo se modifica el Formulario 1 para los propósitos de REDD+

Paso 1:

Catalogar la agencia líder y describir los arreglos o las relaciones entre la agencia u organización de inventario de REDD+ y el Punto focal nacional de la CMNUCC¹¹, de ser diferente (Cuadro 2.1).

¹¹ *Entidad a nivel nacional* se usa en todo el manual y hace referencia a la entidad única a nivel nacional con responsabilidad global para el inventario y el establecimiento y mantenimiento de los arreglos institucionales, jurídicos y de procedimiento entre las agencias gubernamentales y otras entidades que participan en la preparación de estimaciones de emisiones y absorciones del UTCUTS. Otros términos utilizados para nombrar a este organismo designado son entidad nacional, agencia líder a nivel nacional y centro de referencia.

Paso 2:

Enumerar la información adicional, particular de los contactos o expertos para la elaboración del inventario, para el sector de REDD+. Utilice el Cuadro 2.2 para documentar los arreglos existentes a fin de obtener, compilar y revisar los datos del inventario. Identificar la función, organización e información de contacto de aquellos que proporcionan datos relevantes para la estimación de emisiones. En el Cuadro 2.2 se ejemplifican las funciones.

Paso 3:

Identificar dónde existen arreglos institucionales bien establecidos necesarios para preparar el inventario, dónde se han recolectado los datos y gestionado adecuadamente y, por lo tanto, dónde no es necesario el fortalecimiento. Incluir esta información en la columna “Puntos fuertes en la estructura de manejo del sistema de inventario de REDD+” el Cuadro 2.3.

Una vez identificado el análisis de categoría principal y los arreglos institucionales existentes en cada sector, identificar qué mejoras son necesarias para fortalecer los arreglos institucionales en cada uno y enumerarlas en la columna “Posibles mejoras en la estructura de manejo del sistema de inventario de REDD+” del Cuadro 2.3. Cuando prepare esta sección, compruebe si se han asignado o delegado todas las tareas importantes para la preparación del inventario y determine si podrían ser asignadas.

Escribir la información sobre el estatus de los arreglos institucionales o cualquier información adicional no incluida en otra sección del cuadro en la columna “Comentarios” del Cuadro 2.3. Explicar detalladamente cómo se establecieron los arreglos. Por ejemplo, indicar qué proveedor de datos del Cuadro 2.2 facilita las estadísticas que se usarán en el inventario. Describir las estrategias que se utilizaron para recabar los datos de inventario necesarios de una organización. En esta descripción, aborde las siguientes preguntas y añada comentarios adicionales según sea necesario:

- ¿Existe un contrato legal formal entre las organizaciones?
- ¿Se celebró una reunión con los expertos, proveedores de datos y otros contribuyentes clave para explicar el contexto y el propósito del inventario?
- ¿Es un arreglo informal (p.ej., comunicación verbal o escrita con el personal)?
- ¿Cómo se hizo la petición de datos?
- ¿A qué nivel de manejo se hizo la petición?
- ¿Qué provocó que la organización intercambiara sus datos e información con la agencia del inventario?

Entidad nacional designada para la preparación del inventario de REDD+	Punto focal nacional de la CMNUCC (Nombre) y Agencia de referencia de la CMNUCC	Describa los arreglos o las relaciones entre la agencia u organización de inventario de REDD+ y el Punto focal nacional de la CMNUCC, de ser diferente

Cuadro 2.1: Agencia de inventario designada; identifica a los miembros del equipo de manejo del inventario. El estatus de los arreglos institucionales puede anotarse en la columna “Comentarios”.

Función	Nombre	Organización	Información de contacto	Comentarios
Director o coordinador del inventario				
Guía de sector UTCUTS				
Gestor o coordinador del archivo (datos y documentos)				
Coordinador de QA/QC				
Coordinador del análisis de incertidumbre				
Otro: p.ej., especialista en política de GEI que rastrea los esfuerzos de fomento de capacidades y los procesos del IPCC				

Cuadro 2.2: Equipo de manejo del inventario nacional

Actividad de REDD+	Puntos fuertes en la estructura de manejo del sistema de inventario de REDD+	Posibles mejoras en la estructura de manejo del sistema de inventario de REDD+	Comentarios
UTCUTS (general)			
Deforestación			
Degradación forestal			
Conservación de las reservas de carbono forestal			
Gestión forestal sostenible			
Mejora de las reservas de carbono forestal			

Cuadro 2.3: Puntos fuertes y posibles mejoras en la estructura de manejo del sistema de inventario de REDD+.

2.7 REFERENCIAS

CGE: Training material and methodological documents provided by the Consultative Group of Experts on National Communications from Parties not included in Annex I to the Convention.

<http://unfccc.int/7914.php>

EPA National System Templates: Building Sustainable National Inventory Management Systems. Available at: <http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/internationalpartnerships/capacity-building.html>

FCCC/CP/2011/9/Add.1. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session

IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpgaum.htm>

IPCC GPG-LULUCF. 2003. IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm>

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K., eds. Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

UNFCCC. 2010. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>

UNFCCC. 2011. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf#page=4>

UNFCCC. 2013. Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf>

3.0 ESTIMACIÓN DE EMISIONES Y ABSORCIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Autores: Ángel Parra y Stelios Pesmajoglou

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta una breve descripción de la Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (OBP-UTCUTS), del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), incluido un breve resumen de la evolución de las directrices del IPCC; los pasos principales para la estimación de emisiones y absorciones de actividades para reducir emisiones de la deforestación y la degradación forestal, además del papel que desempeñan la conservación, el manejo forestal sostenible y la mejora de las reservas de carbono forestal en los países en desarrollo (REDD+); los principales depósitos de carbono y los tipos de uso de la tierra. Asimismo, se presenta un resumen de las metodologías empleadas para estimar las emisiones y las absorciones, incluyendo discusiones sobre los datos de la actividad (DA) y los factores de emisión (FE) necesarios. En los capítulos 4 y 5, se encontrará información más detallada y técnica sobre la recopilación de datos para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI). En la sección 3.3 de este manual, titulada *Inventario y pasos para el reporte*, se resume la secuencia de pasos necesarios para generar un inventario nacional de GEI. Este capítulo es relevante para las actividades que se resaltan en la página siguiente.

PASO 0: Establecer arreglos institucionales.

PASO 1: Estimar las áreas de tierra en cada categoría de uso de la tierra mediante la estratificación y otros métodos, por el periodo requerido, para representar las áreas en la OBP-UTCUTS.

PASO 2: Realizar el análisis de categorías principales (ACP) en las categorías relevantes. Dentro de las categorías designadas como clave, evaluar los gases significativos que no sean CO₂ y los depósitos de carbono, y dar prioridad según la elección metodológica.

PASO 3: Diseñar un inventario forestal de carbono para generar factores de emisión (FE), si se usa el método de ganancias y pérdidas, asegurándose de que los requisitos en cuanto a los factores de emisión y absorción se cumplan. Los FE representan coeficientes que cuantifican las emisiones y absorciones por unidad de área.

PASO 4: Generar datos de la actividad (DA); según el nivel (tier) identificado. Los DA representan la extensión en la que se lleva a cabo una actividad humana.

PASO 5: Cuantificar las emisiones y absorciones, calculando la incertidumbre en cada estimación. Las estimaciones de emisiones y absorciones representan el producto de los DA por los FE asociados.

PASO 6: Reportar las estimaciones de emisiones y absorciones, usando tablas de reporte y hojas de cálculo cuando sea apropiado. Documentar y archivar la información utilizada para crear las estimaciones nacionales de emisiones y absorciones siguiendo instrucciones específicas de acuerdo a cada categoría o cambio en el uso de la tierra, depósitos de carbono y fuentes que no sean CO₂.

PASO 7: Verificar e implementar controles de calidad, incluida la revisión por parte de expertos externos, de las estimaciones de emisiones según la directriz específica para cada categoría de uso de la tierra, depósito o gas que no sea CO₂.

De acuerdo con la OBP-UTCUTS, la base fundamental de la metodología de inventario de GEI para el uso de la tierra y el cambio en el uso de la tierra de los bosques, incluido REDD+, se asienta en dos suposiciones relacionadas entre sí:

- El flujo de dióxido de carbono (CO₂) hacia/desde la atmósfera es igual a los cambios en las reservas de carbono en la biomasa y en los suelos existentes; y
- Cambios en las reservas de carbono pueden ser estimados, primero estableciendo las tasas de cambio de uso de la tierra, la práctica utilizada para darle otro uso a la tierra (p.ej., quema, tala rasa, tala selectiva, cambios en la silvicultura o prácticas de manejo) y las reservas de carbono antes y después del cambio. Para esto se debe estimar:
 - El uso de la tierra en el año del inventario;
 - La conversión del bosque a un uso diferente de la tierra; y
 - Las reservas de carbono en las categorías de uso de la tierra (tanto aquellas que están sujetas a cambio como aquellas que no lo están).

Para estimar las emisiones y absorciones de GEI, es importante considerar el alcance del inventario, las metodologías de estimación y las necesidades de datos.

En el contexto de REDD+, un inventario nacional de GEI debería abarcar todas las emisiones y absorciones antropogénicas en el territorio de un país y en un período específico (p.ej., en un año calendario o en un período de varios años). Por emisiones y absorciones antropogénicas se entienden aquellas que ocurren en tierras explotadas. El término *tierras explotadas* se define a grandes rasgos y, aunque no es estrictamente lo mismo que *actividades antropogénicas*, se usa comúnmente como la mayor aproximación disponible a nivel global (ver el Recuadro 3.1)

Recuadro 3.1: Tierras explotadas y no explotadas

Cada país puede usar sus propias definiciones de *tierras explotadas* y *no explotadas*, las cuales podrían hacer referencia a definiciones aceptadas a nivel internacional, tales como las definiciones de la FAO, Ramsar, etc. Por esa razón, las definiciones que se presentan en el presente manual no van más allá de descripciones generales.

Las tierras explotadas pueden distinguirse de **las tierras no explotadas** al cumplir no sólo la función de producción, sino además, las funciones ecológicas y sociales. Las definiciones detalladas y el enfoque nacional para distinguir entre *las tierras no explotadas* y *las explotadas* deberían describirse de forma transparente en el reporte de inventario (IPCC OBP 2003), disponible en:

http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/OBPUTCUTS/OBPUTCUTS_files/Chp2/Chp2_Land_Areas.pdf.

El requisito mínimo para que un país participe en un mecanismo de mitigación vinculado a un proceso de financiamiento (p.ej., REDD+) es que tenga la capacidad y el potencial para formar un inventario de GEI con estimaciones de los cambios en las reservas de carbono con una incertidumbre conocida. Para efectos de este manual, las metodologías de estimación que se describen son las de la OBP-UTCUTS,

que son congruentes con las de la *Orientación para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC del 2006* (Orientación del IPCC, 2006) (IPCC, 2006). Para cumplir con esta condición, los países deben tener: 1) estimaciones específicas de los FE correspondientes al país mediante el uso de, por ejemplo, un inventario forestal nacional, para aquellos cambios relacionados con las tierras forestales; 2) datos de inventarios multitemporales; y 3) estimaciones de incertidumbres relacionadas con todo dato reportado.

3.2 ORIENTACIÓN DEL IPCC

3.2.1 Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura

El IPCC elaboró la OBP-UTCUTS en 2003 (IPCC, 2003) como complemento de la *Orientación revisada de 1996 del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Orientación revisada de 1996) (IPCC, 1996). Para más detalles, consulte la Sección 7.1 del presente manual. Sus objetivos principales son:

- Asistir a los países en la creación de inventarios nacionales de GEI para el sector UTCUTS que sean transparentes, consistentes, exhaustivos, comparables y exactos; y
- Suministrar orientación sobre buenas prácticas en la elección de la metodología de estimación y las mejoras de los métodos, así como recomendaciones en asuntos intersectoriales, incluyendo la estimación de incertidumbres, la consistencia de las series cronológicas, el aseguramiento de calidad y el control de calidad.

La OBP-UTCUTS brinda orientación sobre características específicas relacionadas con el sector UTCUTS, como por ejemplo:

- Representación consistente de las áreas de tierra;
- Muestreo de las estimaciones de área y de las estimaciones de emisiones y absorciones;
- Verificación; y
- Directrices sobre cómo complementar los reportes de la Convención para que el sector del UTCUTS cumpla con las exigencias suplementarias de conformidad con el protocolo de Kioto.

Otros avances de la OBP-UTCUTS son la inclusión de:

- Un análisis clave de categorías de fuentes o de sumideros, lo que permite dedicar los limitados recursos de inventario a categorías de fuentes o de sumideros, depósitos de CO₂ y gases que no sean CO₂ importantes;
- Todos los cinco depósitos de carbono (biomasa sobre el nivel de la tierra, biomasa subterránea, madera seca, hojarasca y carbono orgánico del suelo);
- Las estimaciones de emisiones y absorciones de CO₂ de todos los depósitos de carbono; y

- Las siguientes estimaciones de gases que no sean CO₂:
 - Dióxido de nitrógeno (N₂O) y metano (CH₄) de incendios forestales;
 - N₂O y CH₄ de humedales explotados;
 - N₂O de bosques explotados (bosques fertilizados);
 - N₂O del drenaje de los suelos forestales; y
 - N₂O de la conversión del uso de la tierra.

Los inventarios se pueden organizar de acuerdo con seis categorías generales de uso de la tierra: tierras forestales, tierras agrícolas, praderas, humedales, asentamientos y otras tierras. Estas categorías de uso de la tierra se pueden subdividir en tierras que quedan en el mismo uso de la tierra (p.ej., tierra forestal que sigue siendo tierra forestal) durante el período que abarca el inventario, y en tierras convertidas en otra categoría de uso de la tierra (p.ej., tierra forestal convertida en tierra de cultivo) durante el período de inventario.

El Cuadro 3.1 resume las diferencias entre la Orientación revisada de 1996, la OBP-UTCUTS de 2003 y la Orientación del IPCC de 2006 (Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otro uso de la tierra).

Orientación revisada en 1996 del IPCC	OBP-UTCUTS	Orientación de 2006 del IPCC Sector AFOLU
<p>Enfoque de reporte sobre la base de cuatro categorías:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cambios en los bosques y en otras reservas de biomasa forestal ➤ Conversión de bosques y praderas ➤ Abandono de tierras agrícolas, pasturas u otras tierras <i>explotadas</i> ➤ Emisión y absorción de CO₂ de los suelos <p>No se incluyen algunas categorías de tierra, tales como café, té y coco. Falta de claridad en la agroforestería.</p>	<p>Enfoque de reporte sobre la base de seis categorías de tierra:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tierras forestales ➤ Tierras agrícolas ➤ Praderas ➤ Humedales ➤ Asentamientos ➤ Otras tierras 	<p>El sector de la agricultura se une al UTCUTS para garantizar la coherencia y evitar que se cuente por partida doble. Los reportes de las categorías de tierra siguen siendo similares al OBP-UTCUTS.</p>
<p>Las categorías de bosques y praderas se subdividen de acuerdo con las cuatro categorías de reporte:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cambios en el manejo 	<p>Las seis categorías de tierra se subdividen en:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Tierra que permanece en la misma categoría de uso 	<p>Similar</p>

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Conversión ➤ Abandono ➤ Cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tierra que se convierte en otra categoría de uso 	
<p>Los métodos se presentan principalmente para la biomasa por encima del suelo y el carbono orgánico del suelo. Asunción por defecto: los cambios en la materia orgánica muerta y la biomasa subterránea son iguales a cero (es decir, las entradas son iguales a las pérdidas).</p>	<p>Los métodos presentados para la medición y estimación de los cinco depósitos de carbono:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Biomasa por encima del suelo ➤ Biomasa subterránea ➤ Materia orgánica muerta ➤ Hojarasca ➤ Carbono orgánico del suelo <p>Los métodos se presentan para todos los gases que no son CO₂.</p>	<p>Incorporación de métodos para las emisiones de gases que no son CO₂ provenientes de tierras <i>explotadas</i>, suelos y quema de biomasa, y caracterización de poblaciones de ganado y sistemas de manejo de estiércol de la agricultura.</p> <p>Incorporación de métodos para estimar las emisiones de CO₂ de tierras inundadas, con métodos de emisiones de CH₄ que figuran en un apéndice, lo que refleja la limitada disponibilidad de información científica.</p> <p>Descripción de métodos alternativos para estimar y reportar cambios en las reservas de carbonos vinculados con productos de madera extraída.</p>
<p>No se proporciona un análisis de fuente clave/categoría de sumidero</p>	<p>Se proporciona un análisis de categorías de fuentes o de sumideros clave para la selección de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Categorías de tierra ➤ Subcategorías de tierra ➤ Depósitos de carbono ➤ CO₂ y gases que no son CO₂ 	<p>Similar</p>
<p>DA clave requerido:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Área de plantación/forestal ➤ Área forestal convertida ➤ Área promedio convertida (promedio de 10 años) ➤ Área abandonada y que se regenera en bosque: 20 años antes del año-t (año del inventario) y 	<p>DA clave requerido:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Área de tierra forestal que sigue siendo tierra forestal y área de otra categoría de tierra convertida en tierra forestal, desglosada por: región climática, tipo de vegetación, especies, sistema de manejo, etc. ➤ Área forestal afectada por perturbaciones 	<p>Similar</p>

<p>20-100 años antes del año-t</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Área bajo un sistema distinto de uso/manejo de la tierra y tipo de suelo: durante el año-t y 20 años antes del año-t ➤ Área bajo suelos orgánicos explotados 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Área forestal afectada por incendios ➤ Tierra poblada de árboles derivada de tierras de cultivos/praderas ➤ Tierra convertida en bosques a través de la plantación o la regeneración natural 	
<p>Factores de emisión clave requeridos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Biomasa anual transferida a madera seca ➤ Biomasa anual transferida de la madera seca ➤ Reserva de hojarasca bajo diferentes sistemas de manejo ➤ Carbono orgánico de suelo en diferentes sistemas de manejo ➤ Cantidad de combustible de biomasa presente en un área sometida a quema 	<p>Factores de emisión clave requeridos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Promedio del incremento neto anual de volumen adecuado para el procesamiento industrial ➤ Factor de expansión de biomasa (FEB) para la conversión del incremento neto anual (incluida la corteza) en el incremento de biomasa de árboles por encima del suelo ➤ Proporción raíz/tallo apropiada para el incremento ➤ FEB para convertir el volumen de rollizo extraído al total de biomasa por encima del suelo (incluida la corteza) ➤ Tasa de mortalidad en bosques regenerados natural y artificialmente 	<p>Mejoras de emisiones y de factores por defecto de cambio de reserva, así como la elaboración de la Base de datos de factores de emisión del IPCC (EFDB), que constituye una herramienta adicional a la Orientación del IPCC de 2006, y proporciona factores alternativos de emisión con documentación relacionada.</p>
<p>Se presentó el enfoque de estructura de tres niveles, pero no se proporcionó la aplicación de los métodos de selección, del DA ni de los factores de emisión.</p>	<p>Se describió explícitamente la estructura de tres niveles de los métodos de selección, del DA y de los factores de emisión</p>	<p>Similar</p>
<p>Los cambios en la reserva de carbono en la biomasa y en el carbono del suelo en una vegetación específica o en un tipo de bosque no están vinculados.</p>	<p>Los depósitos de biomasa y carbono del suelo están vinculados.</p>	<p>Similar</p>

Cuadro 3.1 Diferencias entre la Orientación del IPCC de 1996, la OBP-UTCUTS, y la Orientación de 2006 para el sector AFOLU

3.2.2 Orientación del IPCC de 2006

La Orientación del IPCC de 2006 representa un desarrollo evolutivo en las metodologías de los inventarios de GEI (IPCC, 2006). El cambio más significativo fue la consolidación del sector UTCUTS y del sector agrícola en un sector único conocido como Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). En la Figura 3.1 se presenta un resumen de la evolución del sector UTCUTS en la Orientación del IPCC.

Otros cambios del sector AFOLU incluyen:

- La adopción de las seis categorías de uso de la tierra empleadas en la OBP-UTCUTS (tierra forestal, tierra de cultivo, praderas, humedales, asentamientos y otras tierras). Estas categorías de tierras se subdividen a su vez en tierra que permanece en la misma categoría y en tierra convertida de una categoría a otra. Las categorías de uso de la tierra están diseñadas para permitir la inclusión de toda el área de tierra explotada existente en un país;
- El reporte de todas las emisiones por fuente y las absorciones por sumidero de las tierras explotadas, que se consideran antropogénicas, mientras que las emisiones y absorciones de tierras no explotadas no se reportan;
- Los métodos genéricos para contabilizar biomasa, materia orgánica muerta y cambios en las reservas de carbono del suelo en todas las categorías de uso de la tierra y métodos genéricos de emisiones de GEI para la quema de biomasa que pueden aplicarse a todas las categorías de uso de la tierra;
- La incorporación de métodos para las emisiones de gases distintos al CO₂ de tierras explotadas y quema de biomasa, y caracterización de poblaciones de ganado y sistemas de manejo de estiércol de la agricultura;
- La adopción de tres niveles jerárquicos de métodos que van desde factores de emisión por defecto y ecuaciones simples al uso de datos específicos a cada país y modelos para ajustarse a las circunstancias nacionales;
- La descripción de métodos alternativos para estimar y reportar cambios en las reservas de carbono asociados con productos de madera extraída;
- La incorporación de un ACP para las categorías de uso de la tierra, los depósitos de carbono y las emisiones de CO₂ y de GEI distintos al CO₂.
- El cumplimiento de los principios de equilibrio de masa en el cálculo de los cambios en las reservas de carbono;
- Mayor uniformidad en la clasificación de áreas de tierra para seleccionar los factores de emisión y de cambios de reserva apropiados, y los DA;

- La mejora de emisiones y factores por defecto de cambios en las reservas, así como la elaboración de la Base de datos de factores de emisión (EFDB, por sus siglas en inglés) del IPCC que es una herramienta suplementaria de la Orientación del IPCC de 2006, que proporcionan factores alternativos de emisión con documentación relacionada; y
- La incorporación de métodos para estimar las emisiones de CO₂ de tierras inundadas con métodos de emisiones de CH₄ que figuran en un apéndice, lo que refleja la limitada disponibilidad de información científica.

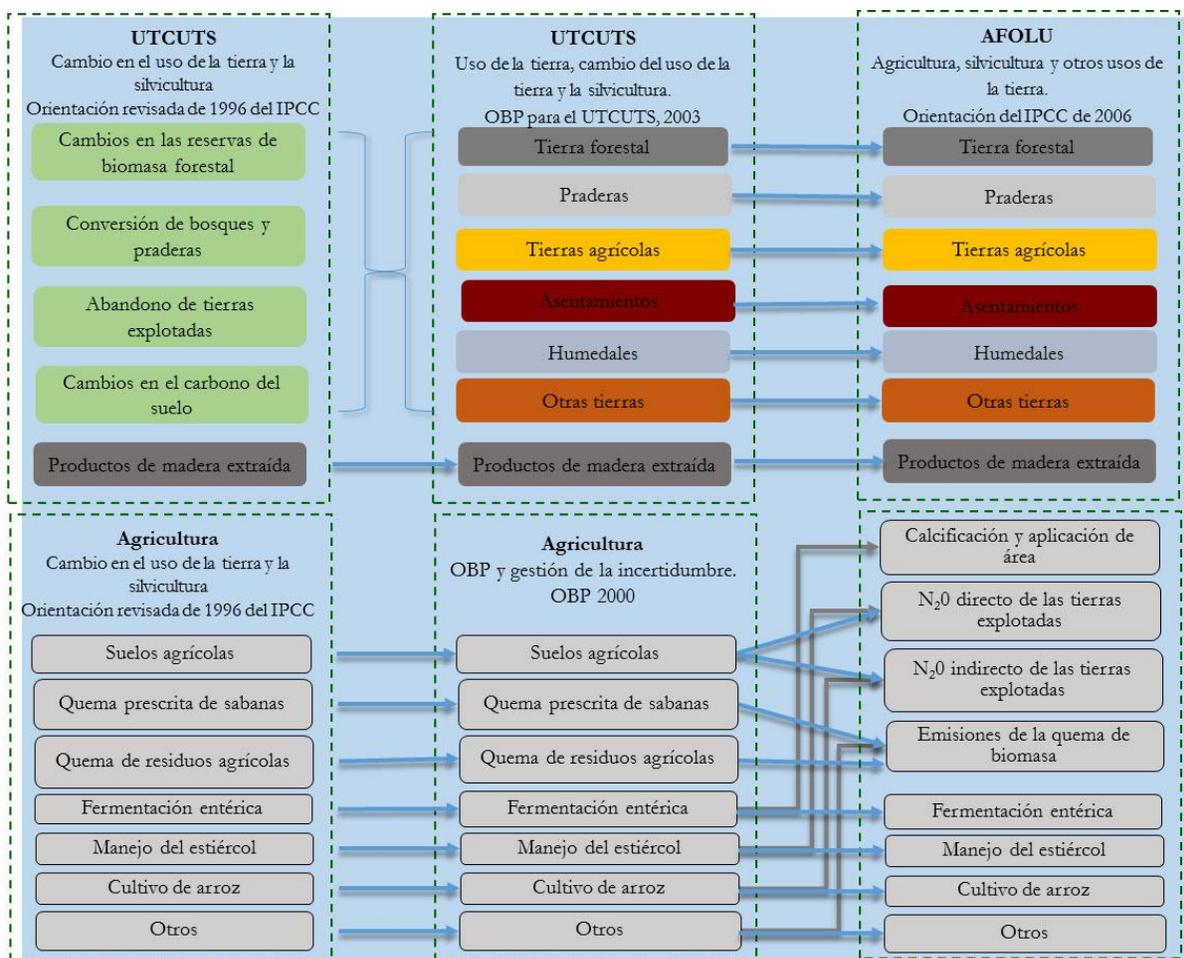


Figura 3.1: Evolución del sector UTCUTS en la Orientación del IPCC. Del Equipo Especial de Presentación sobre los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero en el Grupo de Trabajo Especial de la CMNUCC sobre los nuevos compromisos de las Partes incluidas en el Anexo I dentro del taller sobre asuntos metodológicos del Protocolo de Kioto (GTE-PK), 7 de junio de 2008 (http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/presentation/NGGIP_AWG_KP.pdf).

3.3 PASOS PARA EL INVENTARIO Y REPORTE

A continuación se resume la secuencia de pasos a seguir para la elaboración de inventarios de emisiones y absorciones para el reporte del inventario nacional:

- 1) Estimar las áreas de tierra en cada categoría de uso de la tierra correspondiente al período específico, tomando como base los tres enfoques descritos a continuación, para representar las áreas en la OBP-UTCUTS.
- 2) Identificar las categorías principales (ver el Recuadro 3.2). Dentro de las categorías principales, evaluar qué depósitos de carbono y de gases que no sean CO₂ son significativos, y darles prioridad dependiendo de la elección metodológica.

- 3) Garantizar que se cumpla con los requisitos en cuanto a factores de emisión y absorción y DA apropiados al nivel. Los niveles se describen más adelante.
- 4) Cuantificar las emisiones y absorciones y estimar la incertidumbre en cada estimación.
- 5) Usar las tablas de reporte para reportar las estimaciones de emisiones y absorciones. Utilizar las hojas de cálculo en aquellos casos en que resulte necesario. Documentar y archivar toda la información utilizada para hacer las estimaciones de emisiones y absorciones nacionales siguiendo las instrucciones específicas de cada categoría de uso de la tierra, depósito de carbono, fuente distinta al CO₂ y cambio en el uso de la tierra (en el Capítulo 6 encontrará más información sobre la elaboración de reportes).
- 6) Implementar chequeos de control de calidad, verificaciones y revisiones de otros expertos externos de las estimaciones de emisiones siguiendo directrices específicas de cada categoría de uso de la tierra, depósito o gas que no sea CO₂ (en el Capítulo 6 encontrará más información sobre la verificación).

Recuadro 3.2: Categorías principales y análisis de categorías principales

Las categorías principales hacen referencia a elementos específicos dentro de un inventario de GEI, que son importantes en cuanto a su contribución a las emisiones o absorciones totales, a la incertidumbre total, o a las tendencias de emisiones o absorciones correspondientes a los años que abarca el inventario. Representan un elemento central de la Orientación del IPCC y ayudan a los países a identificar las metodologías más apropiadas para actividades específicas. La elección metodológica de cada una de las categorías principales de fuentes y de sumideros resulta importante para el manejo de la incertidumbre general del inventario. Por lo general, la incertidumbre del inventario es menor cuando se estiman las emisiones y absorciones usando los métodos más rigurosos de cada categoría o subcategoría presentes en los volúmenes sectoriales de estas directrices. Sin embargo, generalmente, estos métodos requieren más recursos para la recopilación de datos, razón por la cual quizás no sea factible emplear métodos más rigurosos en cada categoría de emisiones y absorciones. Por lo tanto, resulta una buena práctica identificar las categorías que contribuyen más a la incertidumbre general del inventario a fin de usar los recursos disponibles con mayor eficiencia. Mediante la identificación de estas categorías principales en el inventario nacional, los compiladores de inventario pueden priorizar sus esfuerzos y mejorar sus estimaciones generales.

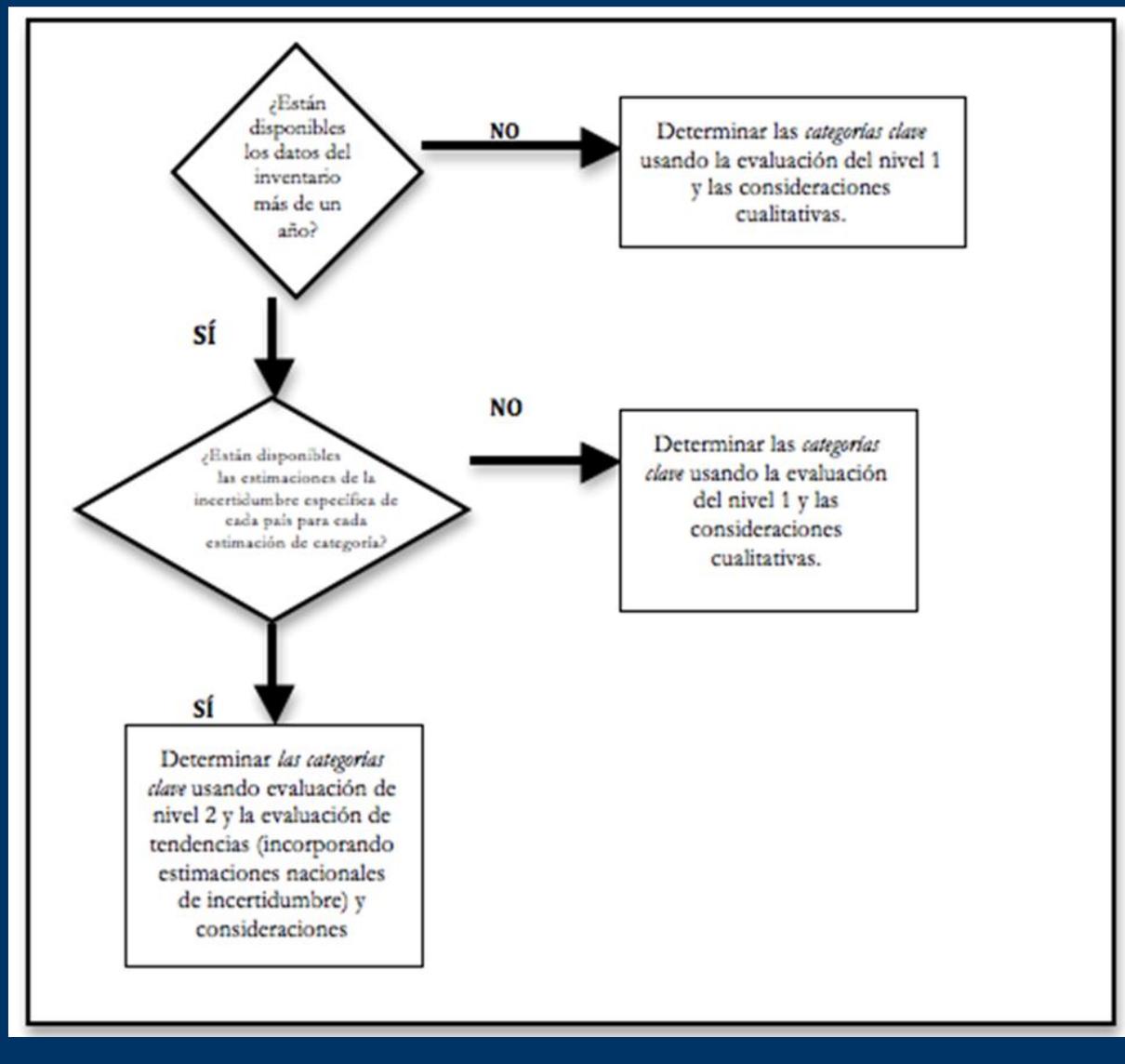
Resulta una buena práctica que cada país identifique sus categorías nacionales importantes de forma sistemática y objetiva. Por consiguiente, es una buena práctica usar los resultados de un **análisis de categoría principal (ACP)** como base de la elección metodológica. Dicho proceso conducirá a una mayor calidad de inventario, así como a un mayor nivel de confianza en las estimaciones que se desarrollen.

La sección 5.4 de la OBP-UTCUTS sirve de orientación en cuanto a los enfoques cuantitativos para llevar a cabo un ACP con el propósito de cumplir tres objetivos:

1. Permitir la constante evaluación de las principales categorías principales sin el UTCUTS;
2. Evaluar la importancia relativa de las categorías UTCUTS al integrarlas en el análisis general de categorías principales; y
3. Lograr consistencia con la orientación y las decisiones de la Conferencia de las Partes de la CMNUCC y el Protocolo de Kioto en cuanto a la identificación de categorías principales.

La OBP-UTCUTS también recomienda hacer el ACP dos veces. Como primer paso, el ACP debería identificar las categorías principales de todos los sectores, excluyendo el UTCUTS. Luego, debería hacerse el ACP incluyendo el UTCUTS.

La figura que se presenta a continuación, de la OBP-UTCUTS, muestra un resumen del proceso de toma de decisiones de un ACP.



3.4 DEFINICIÓN DE DEPÓSITOS DE CARBONO Y USOS DE LA TIERRA

3.4.1 Depósitos de carbono

La OBP-UTCUTS da las siguientes definiciones de los cinco depósitos de carbono: biomasa por encima del suelo, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y suelos (ver el Recuadro 3.3). Estas definiciones proporcionan una representación genérica de estos depósitos presentes en un ecosistema terrestre. En el Capítulo 4 se presenta información adicional y específica sobre los bosques.

Recuadro 3.3: Cinco depósitos de carbono

Biomasa viva:

- **Biomasa por encima del suelo:** Toda la biomasa viva que se encuentra por encima del suelo, incluyendo el tallo, el tocón, las ramas, la corteza, las semillas y el follaje. Las ramas muertas que siguen adheridas a una planta viva se incluyen como parte del depósito de biomasa por encima del suelo de árboles vivos, pero en la mayoría de los casos no constituyen una fracción significativa del depósito. En aquellos casos en los que el sotobosque forestal sea un componente relativamente pequeño del depósito de carbono de la biomasa por encima del suelo es aceptable, en algunos niveles, excluir las metodologías y los datos asociados usados, siempre y cuando los niveles se usen de forma uniforme en las series cronológicas del inventario forestal (tal y como se especifica en el Capítulo 4).
- **Biomasa subterránea:** Toda la biomasa viviente de raíces vivas. Se suelen excluir las raíces finas de menos de 2 milímetros de diámetro (número sugerido) o se miden como parte del depósito de carbono del suelo, porque no resulta práctico intentar quitar del suelo raíces muy finas y pelos radicales.

Materia orgánica muerta:

- **Madera muerta:** Incluye toda la biomasa forestal que no está viva y que se encuentra en la hojarasca, bien sea en posición vertical, que yace en el suelo o se encuentre en él. La madera muerta incluye la madera que yace en la superficie, raíces muertas y tocones cuyo diámetro es mayor o igual a 10 centímetros o de cualquier otro diámetro utilizado en el país. Normalmente, los árboles muertos que se mantienen en pie deben ser lo suficientemente grandes para ajustarse a la definición de *árbol* que se aplica en el país a los árboles vivos. A las reservas de carbono en la madera muerta que yacen en el suelo también se las conoce como detritos lechosos gruesos.
- **Hojarasca:** Incluye toda la biomasa que no está viva y cuyo diámetro es inferior al diámetro mínimo aplicado por el país a la madera muerta (p.ej., 10 centímetros, y quizás también una longitud mínima), que yace muerta en varios estados de descomposición por encima del suelo mineral u orgánico. Esto incluye las capas de hojarasca y las capas fúmicas y húmicas. Las raíces vivas finas (cuyo diámetro es inferior al límite de diámetro que se sugiere para la biomasa subterránea) se incluyen en la hojarasca en aquellos casos en los que no se pueden distinguir empíricamente.

Suelos:

- **Materia orgánica del suelo:** Incluye el carbono orgánico en suelos minerales y orgánicos (incluida la turba) que se encuentra a una profundidad específica escogida por el país y aplicada con uniformidad en las series cronológicas. Las raíces vivas finas (cuyo diámetro es inferior al límite de diámetro que se sugiere para la biomasa subterránea) se incluyen en la materia orgánica del suelo en aquellos casos en los que no se pueden distinguir empíricamente.

Las circunstancias nacionales podrían exigir unas ligeras modificaciones a las definiciones de depósito que se utilizan aquí. Es una buena práctica reportar con claridad aquellos casos en los que se utilizan definiciones modificadas. Así se garantiza que las definiciones modificadas se utilicen con uniformidad en el tiempo y de esta forma se demuestra que los depósitos no han sido omitidos ni contados dos veces.

3.4.2 Categorías de uso de la tierra

Si bien este manual se centra en los requisitos del sistema de MRV de la tierra forestal, a continuación se presentan brevemente todas las seis categorías de tierra de alto nivel definidas por la OBP-UTCUTS y AFOLU.

Tierras forestales

La tierra forestal incluye toda la tierra con vegetación forestal que sea congruente con los umbrales utilizados para definir la tierra forestal en el inventario nacional de GEI, subdividida en *explotada* y *no explotada*, y además, según el tipo de ecosistema. Incluye, asimismo, sistemas con vegetación que actualmente están por debajo del umbral de la categoría de tierra forestal, aunque se espera que lo supere.

Tierras agrícolas

La tierra agrícola incluye tierra arable y de labranza, y sistemas agroforestales con vegetación por debajo del umbral utilizado en la definición nacional de tierra forestal.

Praderas

Las praderas incluyen las dehesas y las tierras de pastoreo que no se consideran tierras de cultivo. También incluyen sistemas con vegetación que se ubican por debajo del umbral usado en la categoría de tierra forestal y que no se espera que excedan el umbral usado en la categoría de tierra forestal sin la intervención del hombre. La categoría también incluye todas las praderas que abarcan desde praderas silvestres naturales, tales como el páramo, hasta las áreas recreativas, así como también los sistemas agrícolas y silvopastorales, subdivididos en *explotados* y *no explotados*, conforme a las definiciones nacionales.

Humedales

Los humedales incluyen tierra cubierta o saturada por agua durante todo el año o parte de él (p.ej., la turbera) y que no forma parte de las categorías de tierra forestal, tierra de cultivo, pastizal ni asentamientos. Los humedales se pueden subdividir en *explotados* y *no explotados* según las definiciones nacionales.

Asentamientos

Los asentamientos incluyen todas las tierras urbanizadas, incluyendo la infraestructura de transporte y los asentamientos humanos de cualquier tamaño, a no ser que ya estén incluidos en otras categorías. Esto debería ser congruente con la selección de las definiciones nacionales.

Otras tierras

Otras tierras incluyen suelo desnudo, roca, hielo y todas las áreas de tierra *no explotadas* que no forman parte de ninguna de las otras cinco categorías. Permite que el total de áreas de tierras identificadas concuerde con el área nacional, en los casos en que hay datos disponibles.

3.5 METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR EMISIONES Y ABSORCIONES

Ya que no es posible medir todas las emisiones y absorciones, se pueden hacer estimaciones con base en parámetros alternativos relacionados con las tasas de emisión, tales como los cambios en las reservas de carbono antes y después de un cambio en el uso de la tierra. En la Figura 3.2 se muestra la forma genérica de las metodologías de todas las directrices de inventario del IPCC, incluida la OBP-UTCUTS.

Las estimaciones de emisiones son iguales al producto de todos los DA tomados en cuenta y sus FE asociados. Los DA son cambios en el área de uso de la tierra, mientras que los FE son las cantidades promedio de emisiones por unidad de área de cada tipo de actividad.

La OBP-UTCUTS (y la Orientación del IPCC de 2006) permite la elaboración de inventarios con distintos niveles de complejidad, conocidos como “niveles (tiers)”. En términos generales, en los inventarios en los que se usan niveles superiores hay mayor exactitud y menos incertidumbre (Figura 3.3). Sin embargo, hay una compensación, ya que la complejidad y los recursos necesarios para elaborar los inventarios también aumentan los niveles superiores. Se puede utilizar una combinación de niveles (p.ej., el Nivel 2 para la biomasa y el Nivel 1 para el carbono del suelo), dependiendo de la disponibilidad de datos y la magnitud de los cambios en el depósito esperados. En el Recuadro 3.4 figura una explicación de los niveles.

Ya que las categorías principales tienen el impacto más significativo en las emisiones totales, las categorías principales deberían abordarse como mínimo usando métodos de Nivel 2, de ser posible, para así mejorar la exactitud de las estimaciones (Figura 3.4). Otra de las razones que explica el uso de un nivel superior, podría ser la necesidad de un mayor nivel de detalle en un sector particular, como por ejemplo la necesidad de entender el efecto de disminución de un proyecto de mitigación.

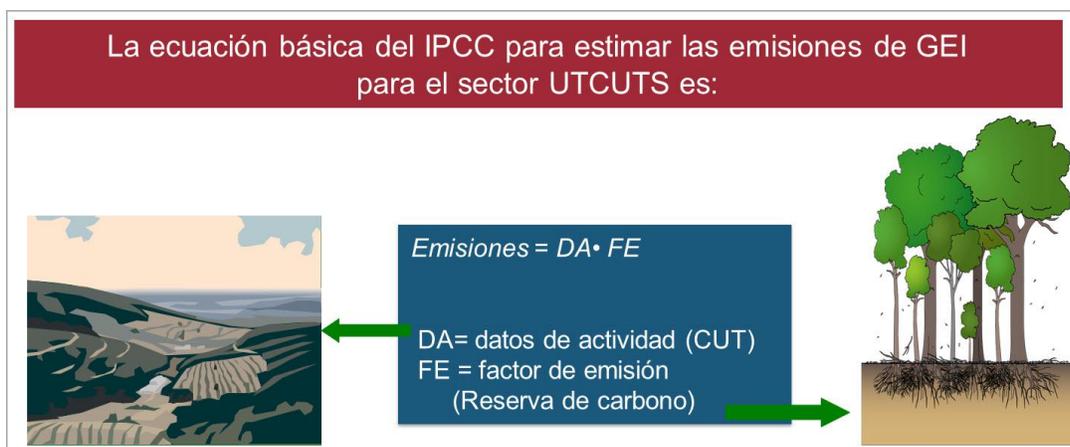


Figura 3.2: Ecuación básica del IPCC para la estimación de emisiones/absorciones.

Niveles (cambios en los depósitos de C)	Certidumbre	REDD+	Costo
1. IPCC valores por defecto: ➢ Biomasa por tipo de bosque, por región y estratificación ecológica, fracción de carbono, etc.		Punto de inicio simple y conservador	
2. Datos específicos del país: Inventarios (fecha, enfoque) Parcelas de monitoreo ecológico Estudios de proyecto / Muestras de campo		Motivación para mejorar el sistema de monitoreo con el tiempo	
3. Inventario completo de los depósitos de C: ➢ Evaluación integral ➢ Considerar diferentes reservas de carbono y evaluar cambios asociados		Monitoreo de emisiones establecido y exacto	

Figura 3.3: Implicaciones clave del uso de distintos niveles. Tómese en cuenta que “Red. Em.” significa emisiones reducidas (adaptado de la GOF C GOLD, 2011).

Recuadro 3.4: Niveles (Tiers)

Los métodos de **Nivel 1** están diseñados para que sean fáciles de usar. La OBP-UTCUTS y la Orientación del IPCC de 2006 brindan ecuaciones y valores de parámetros por defecto (p.ej., factores de emisión y cambios de reserva), a fin de que el compilador del inventario no necesite datos específicos para estos parámetros de ecuaciones. Si bien se necesitan datos específicos del país sobre el uso de la tierra y el manejo, en el caso del Nivel 1, generalmente hay recursos disponibles a nivel mundial sobre estas estimaciones (p.ej., tasas de deforestación, estadísticas de producción agrícola, mapas globales de cubierta de la tierra, uso de fertilizantes, datos de población de ganado). No obstante, es improbable que el método de Nivel 1 por sí solo sea suficiente para obtener créditos a través de REDD+

El **Nivel 2** usa el mismo enfoque metodológico que el Nivel 1, pero los factores de emisión y cambios de reserva se basan en datos específicos del país o la región. Los factores de emisión definidos por país resultan más apropiados para las regiones climáticas y los sistemas de uso de la tierra en el país o la región. En el Nivel 2 se usa una mayor resolución temporal y espacial, así como más categorías de uso de la tierra y manejo desglosadas para ajustarse a los coeficientes definidos por cada país para regiones específicas y categorías especializadas de uso de la tierra.

El **Nivel 3** usa métodos de alto orden, incluidos modelos y sistemas de medición de inventario especialmente diseñados para abordar circunstancias nacionales específicas. Las evaluaciones se repiten con el tiempo y en ellas se utilizan datos de uso de la tierra de alta resolución y de manejo, los cuales suelen estar desglosados a nivel subnacional. Estos inventarios usan medidas avanzadas y/o sistemas de modelos para mejorar la estimación de emisiones y absorciones de GEI más allá de los enfoques del Nivel 1 o 2. (Angelsen, 2008).

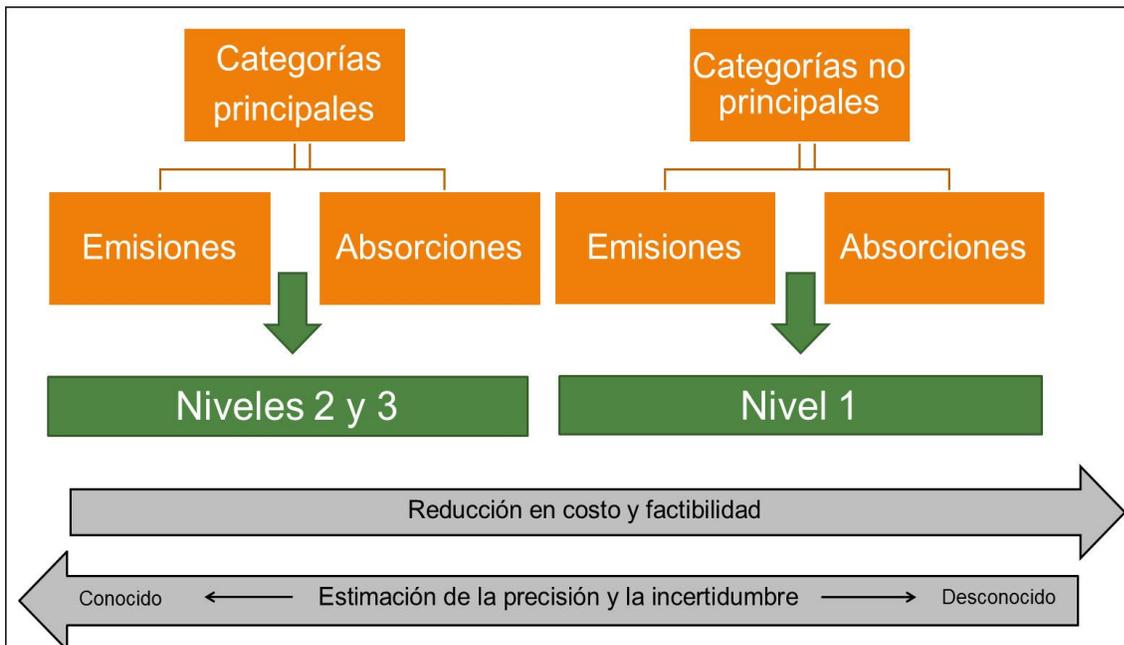


Figura 3.4: Elección del nivel de estimación según el proceso ACP (adaptado de Maniatis y Mollicone, 2010).

3.5.1 Datos de la actividad

La Orientación del IPCC describen tres *enfoques* distintos para representar los DA o el cambio en el área de distintas categorías de tierra (Figura 3.5). Observe que los enfoques son específicos de la representación de los DA y no se deberían confundir con los tres niveles de inventario descritos anteriormente. Los tres enfoques incluyen:

- El enfoque 1 identifica el área total de cada categoría de tierra. Esta información suele proporcionarse mediante estadísticas no espaciales del país y no suministran datos sobre la naturaleza ni el área de conversiones entre los usos de la tierra (es decir, sólo suministran cambios “netos” del área), por ejemplo, la deforestación menos la forestación, y por lo tanto no son adecuados para REDD+.
- El enfoque 2 tiene que ver con el seguimiento que se hace de las conversiones de tierra entre las categorías, dando así como resultado una matriz de conversión de uso de la tierra que no es explícita desde el punto de vista espacial.
- El enfoque 3 amplía el enfoque 2 al usar la información de conversión de la tierra espacialmente explícita, obtenida mediante muestreo o técnicas exhaustivas de mapeo con sensores remotos.

Es probable que sea necesario que los cambios en el uso de la tierra de un mecanismo de REDD+ sean identificables y rastreables en el futuro. Por lo tanto, es posible que sólo el enfoque 3, o el enfoque 2 con información adicional (p.ej., mapas de cambio de la cobertura de la tierra) resulten útil en el rastreo de la tierra, y por lo tanto, en la implementación REDD+.



Figura 3.5: Enfoques distintos para obtener datos de actividad (adaptado de la OBP 2003 del IPCC).

3.5.2 Factores de emisión

El primer requisito metodológico que se debe cumplir en el reporte del inventario nacional es la generación de estimaciones de los FE específicos de cada país para cada una de las subcategorías principales, es decir, diferentes tipos de bosque o conversión de un tipo de bosque a una categoría diferente. Para obtener dichas estimaciones, y a fin de cumplir con el principio de reporte exhaustivo de la CMNUCC, es primordial elaborar un inventario nacional forestal de REDD+, o adaptar un inventario existente, para brindar estimaciones de los cinco depósitos de carbono forestal del IPCC (biomasa por encima del suelo, biomasa subterránea, hojarasca, madera muerta o carbono orgánico del suelo). Las

estimaciones de los cambios en las reservas de carbono que un país tendrá que presentar a través de su inventario de GEI también tendrán que tomar en cuenta todas las posibles transferencias entre los depósitos (Figura 3.6).

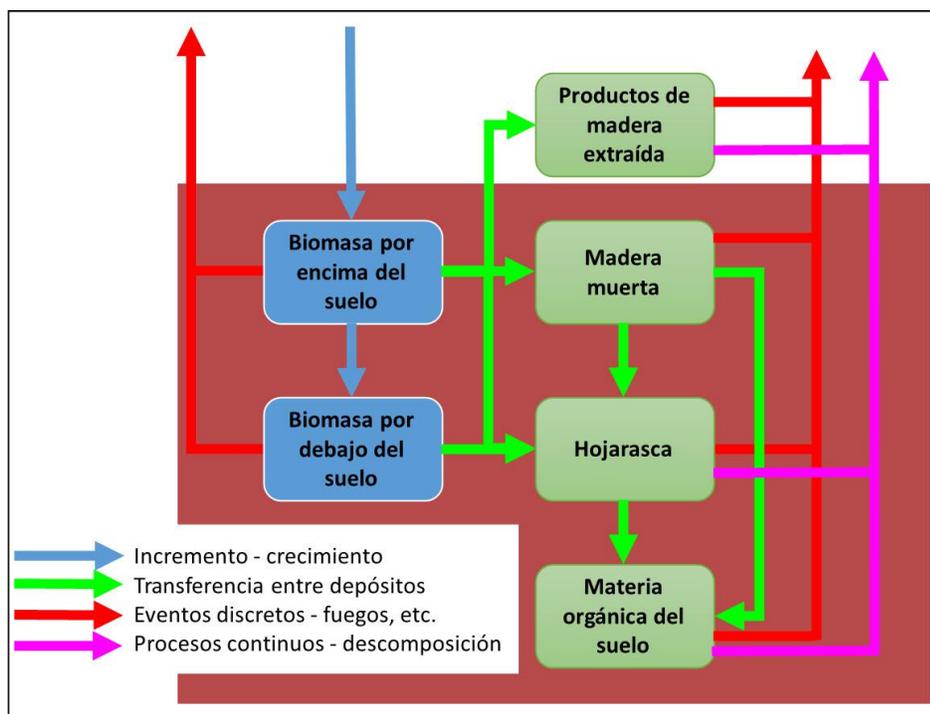


Figura 3.6: Transferencia de carbono entre depósitos en un ecosistema forestal.

3.5.3 Métodos para estimar emisiones y absorciones

En cuanto al uso de la tierra, el IPCC reconoce dos métodos para estimar las emisiones de carbono: el método de cambio en la reserva¹² y el método de ganancia y pérdida (IPCC, 2003). El método de cambio en la reserva estima las emisiones identificando cambios en las reservas de carbono al principio y al final del periodo en un área total de monitoreo. El método de ganancias y pérdidas estima las emisiones identificando el área de cambio de un tipo de cobertura a otro y las diferencias en las reservas entre esos dos tipos por unidad de área (Figura 3.7). Estos dos simples enfoques de cálculo asumen que tanto las emisiones que van a la atmósfera como las absorciones provenientes de ella son iguales a la cantidad total de cambios en las reservas.

¹² La OBP-UTCUTS (IPCC, 2003) usa el término cambio en las reservas, mientras que la Directriz de 2006 usa el término diferencias en las reservas (IPCC, 2006). Las Partes no incluidas en el Anexo 1 no han tomado una decisión con respecto al uso de la Orientación de 2006, y, por lo tanto, a lo largo de este manual usamos el primer término, a pesar de que la Orientación de 2006 está más actualizada y usa el segundo.

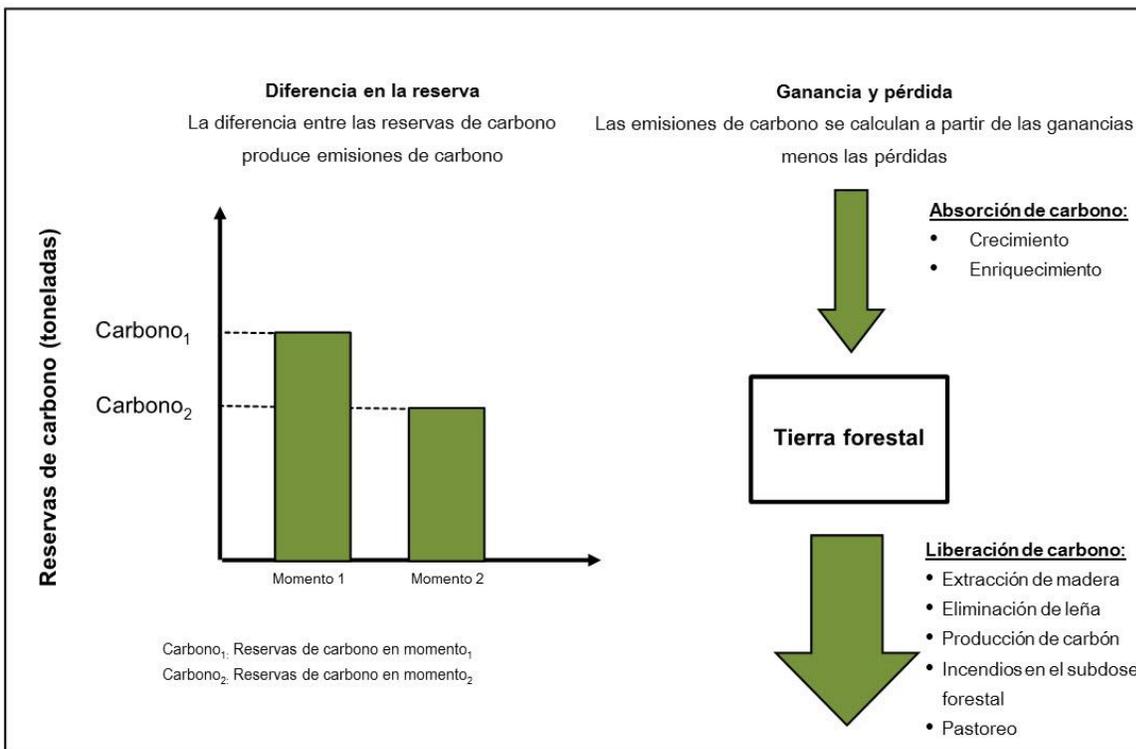


Figura 3.7: Dos métodos reconocidos por el IPCC para estimar las emisiones de carbono: 1) diferencias en las reservas; y 2) ganancia y pérdida (Angelsen, 2008).

El diseño de estrategias de inventarios de campo y de mapeo de la cubierta de la tierra varía según cuál de los dos métodos se utilice. En el caso del método de cambio en las reservas, el mapeo de la cubierta de la tierra se usa para estratificar el área de monitoreo para brindar apoyo al muestreo de campo y extrapolar las estimaciones de campo. Entonces, toda el área forestal es muestreada en campo en un intervalo de tiempo inicial y en otro posterior. A continuación se estima en cada estrato la diferencia entre las reservas de ambos intervalos de tiempo. El muestreo debe estar diseñado para detectar pérdidas derivadas de la deforestación y degradación forestal ocurridas entre ambos intervalos de tiempo. En el caso de la degradación forestal, esto significa estimar leves reducciones en la reserva de área en áreas de mayor tamaño. En el caso de la deforestación, esto significa garantizar que el diseño de muestreo detecte el impacto de una variable relativamente pequeña, es decir, áreas de deforestación, cada una de las cuales tiene un impacto relativamente grande sobre las emisiones.

En el método de ganancia y pérdida, se elabora el inventario de campo para obtener una estimación de la reserva promedio por unidad de área por cada clase de cobertura. Se puede asumir que estas estimaciones por área son constantes y que se monitorea el uso de la tierra para estimar las áreas de cambio entre pares de clases. En este caso, a los datos sobre las diferencias en las reservas relacionadas con un cambio entre las dos clases a lo largo del tiempo se les conoce como Factores de emisión (FE), y a las áreas de cambio se las conoce como Datos de la Actividad (DA). Estos se multiplican para estimar las emisiones relacionadas con cada tipo de cambio en el uso de la tierra.

La EFDB, descrita en el Recuadro 3.5, representa una fuente de datos de los FE. Otras fuentes de estimaciones de emisión son: 1) emisiones medidas y 2) cálculos complejos. Cada vez hay mayor disponibilidad de las estimaciones de emisiones medidas debido a los requisitos del régimen de comercio de emisiones de algunos países. Sin embargo, debe hacerse un cuidadoso examen previo antes de usar

estas estimaciones, así como garantizar que haya compatibilidad con la parte no medida del inventario, o de lo contrario podría haber inconsistencias.

Recuadro 3.5: Base de datos de factores de emisión del IPCC

La Base de datos de factores de emisión (EFDB) del IPCC es una de las fuentes de los FE. La EFDB es un foro de Internet actualizado continuamente de intercambio de información sobre los FE y otros parámetros relevantes a la estimación de emisiones u absorciones de GEI a nivel nacional. La base de datos se puede consultar en Internet a través de las páginas oficiales del IPCC, IPCC-NGGIP, o directamente en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>.

El diseño de la EFDB permite que sea una plataforma en la que expertos e investigadores pueden informar a posibles usuarios finales de todo el mundo sobre nuevos FE u otros parámetros. La idea es que se convierta en una fuente de consulta reconocida en la que los usuarios puedan encontrar FE y otros parámetros con documentos de referencia o referencias técnicas. Si bien se invita a expertos e investigadores de todo el mundo a contribuir a la EFDB con sus datos, una junta editorial de la EFDB se encargará de evaluar los criterios de inclusión de nuevos FE y otros parámetros. Estos procedimientos le permitirán al usuario juzgar la pertinencia de usar en sus inventarios los FE u otros parámetros. Sin embargo, es el usuario quien tiene la responsabilidad de usar esta información de forma apropiada.

Las estimaciones de emisiones también pueden provenir de modelos complejos elaborados por el país (método de Nivel 3). Estos cálculos complejos incluyen muchos parámetros (p.ej., densidad de carbono por especies en un país). Algunas emisiones ocurren a lo largo de años después de la acción, tales como las emisiones procedentes de productos de madera extraída. Sin embargo, los países deben asegurarse de que los modelos complejos sean compatibles con la Orientación del IPCC.

Por último, resulta necesario hablar sobre los datos. Sobre todo en el caso del uso de la tierra, se necesitan muchos datos para hacer los cálculos. Se necesitan varios FE y parámetros, tales como los factores de conversión del contenido de carbono de la madera, la cantidad de biomasa por encima del suelo en comparación con la biomasa total, y las tasas de crecimiento. A fin de paliar la falta de datos, la orientación brinda valores por defecto correspondientes a distintas regiones y ecosistemas. Sin embargo, vale la pena mencionar que algunos datos específicos de cada país tienden a no cambiar anualmente. Por lo tanto, se anima a los países a invertir en encontrar datos específicos a cada país que se adapten mejor a las circunstancias locales. Tales datos también podrían resultar adecuados cuando se den circunstancias regionales en las que un grupo de países comparten ecosistemas similares. Una alternativa rentable podría ser compartir datos con los países de la región.

Los usos de la tierra pueden cambiar anualmente, y, por lo tanto, también los DA de áreas de tierra. Por consiguiente, es necesario monitorear con regularidad. La recopilación de los DA debería llevarse a cabo con el objetivo de generar datos representativos, fiables y coherentes con el tiempo y podrían hacerse mediante el estudio de campo, inventarios forestales o el uso de datos satelitales (GOFCC GOLD, 2011). En el Cuadro 3.2 se resumen los elementos clave a tomar en cuenta cuando se estiman las emisiones y absorciones del cambio del uso de la tierra y el sector forestal: 1) depósitos de carbono forestal (FE de ecosistemas forestales); 2) cambios en el uso de la tierra (DA); y 3) los métodos de estimación de las reservas de carbono.

Elementos del IPCC	Opciones	Implicaciones
1. Depósitos de carbono forestal (factores de emisión)	1. Nivel 1	➤ Alto nivel de incertidumbre, pero de menor costo
	2. Nivel 2	➤ Requiere que los datos nacionales incluyan un inventario nacional forestal
	3. Nivel 3	➤ Más exacto, pero más costoso y exige más tiempo
2. Representación de la tierra (Datos de la actividad)	1. Enfoque 1	➤ Inadecuado para REDD+ debido a la falta de exactitud
	2. Enfoque 2	➤ No es adecuado de inmediato para REDD+, porque no es espacialmente explícito
	3. Enfoque 3	➤ Adecuado para REDD+, pero requiere de un riguroso proceso de análisis y de verificación en el terreno
3. Método de estimación de las reservas de carbono	1. Cambio en las reservas	➤ Se requieren 2 series de inventarios forestales
	2. Ganancia y pérdida	➤ 1 inventario forestal con estimación de flujos de reservas de carbono

Cuadro 3.2: Elementos clave para la estimación de emisiones y absorciones del sector UTCUTS.

3.6 REFERENCIAS

Angelsen, A., ed. 2008. Moving ahead with REDD: Issues, options and implications. CIFOR, Bogor, Indonesia.

GOFC-GOLD. 2011. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. GOFC-GOLD Report version COPI7-1, (GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada)

IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

Maniatis, D. and D. Mollicone. 2010. Options for sampling and stratification for national forest inventories to implement REDD+ under the UNFCCC. Carbon Balance and Management 5:9.

4.0 INVENTARIOS DE CAMPO

Autores: Gordon Smith, Irene Angeletti, David Scoch

4.1 INTRODUCCIÓN

La sección 3.3 de este manual, *Pasos para el inventario y reporte*, resume la secuencia de pasos necesarios para crear un inventario nacional de GEI. Este capítulo es relevante para las actividades que se destacan en la página siguiente.

PASO 0: Establecer arreglos institucionales.



PASO 1: Estimar las áreas de tierra en cada categoría de uso de la tierra mediante la estratificación y otros métodos, por el periodo requerido, para representar las áreas en la OBP-UTCUTS.



PASO 2: Realizar el análisis de categorías principales (ACP) en las categorías relevantes. Dentro de las categorías designadas como clave, evaluar los gases significativos que no sean CO₂ y los depósitos de carbono, y dar prioridad según la elección metodológica.



PASO 3: Diseñar un inventario forestal de carbono para generar factores de emisión (FE), si se usa el método de ganancias y pérdidas, asegurándose de que los requisitos en cuanto a los factores de emisión y absorción se cumplan. Los FE representan coeficientes que cuantifican las emisiones y absorciones por unidad de área.



PASO 4: Generar datos de la actividad (DA); según el nivel (tier) identificado. Los DA representan la extensión en la que se lleva a cabo una actividad humana.



PASO 5: Cuantificar las emisiones y absorciones, calculando la incertidumbre en cada estimación. Las estimaciones de emisiones y absorciones representan el producto de los DA por los FE asociados.



PASO 6: Reportar las estimaciones de emisiones y absorciones, usando tablas de reporte y hojas de cálculo cuando sea apropiado. Documentar y archivar la información utilizada para crear las estimaciones nacionales de emisiones y absorciones siguiendo instrucciones específicas de acuerdo a cada categoría o cambio en el uso de la tierra, depósitos de carbono y fuentes que no sean CO₂.



PASO 7: Verificar e implementar controles de calidad, incluida la revisión por parte de expertos externos, de las estimaciones de emisiones según la directriz específica para cada categoría de uso de la tierra, depósito o gas que no sea CO₂.

De acuerdo con las directrices de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para la reducción de las emisiones causadas por la deforestación y la degradación forestal, más la función de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal (REDD+), los países deberán establecer Sistemas nacionales de monitoreo forestal (SNMF) que cuantifiquen los cambios en la cobertura de la tierra y las reservas de carbono terrestre; esto, usando una combinación de enfoques de inventarios forestales de carbono en campo a fin de estimar, según sea apropiado, las emisiones antropogénicas y forestales por fuentes y la absorción por sumideros de gas de efecto invernadero (GEI), las reservas de carbono forestal y los cambios en las áreas forestales. Los países deberán llevar a cabo estos procesos de conformidad con los principios de transparencia, exactitud, exhaustividad, comparabilidad y consistencia (TACCC, por sus siglas en inglés) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Un inventario forestal de carbono de campo tiene múltiples propósitos, incluidos, brindar información precisa al inventario nacional de GEI, facilitar la comunicación nacional de emisiones y absorciones de carbono del uso de la tierra y brindar apoyo a la generación de créditos de compensación de GEI o programas nacionales para mitigar emisiones. Cuando un inventario de forestal de carbono puede satisfacer múltiples necesidades, quizás sea más fácil obtener recursos para preparar el inventario y mantener el nivel de apoyo para proseguir con el trabajo en el futuro. En el Recuadro 4.1 aparece un ejemplo de un diseño de inventario y de un plan de implementación de trabajo.

Recuadro 4.1: Ejemplo de diseño de inventario y de plan de implementación de trabajo

- Establecer aspectos institucionales: una evaluación de la capacidad y de las necesidades mediante un proceso de consulta en el que participe una amplia variedad de posibles usuarios de los datos (más allá de los usos finales de la MRV de REDD+)
 1. Definir los objetivos, especificando los usos finales y los resultados deseados. Tener en cuenta la escala/resolución deseada y si el enfoque estará en la estimación de reservas o en el cambio en las reservas.
 2. Seleccionar la precisión/incertidumbre permisibles deseadas.
 3. Definir el presupuesto y el personal y las necesidades de fomento de capacidades.
- Diseñar el inventario
 1. Definir las reservas de carbono forestal (cuyos datos serán suministrados por el ACP) y otros parámetros ambientales que serán medidos.
 2. Seleccionar y validar ecuaciones alométricas y definir las mediciones necesarias.
 3. Elaborar un diseño de muestreo.
 - a. Recopilar datos para elaborar el diseño de muestreo (p.ej., datos de una parcela piloto de inventarios existentes, mapas y coberturas pertinentes de SIG, fotos aéreas y datos de sensores remotos).
 - b. Definir la población/área forestal.
 - c. Seleccionar el tipo de muestreo (p.ej., simple y aleatorio, sistemático, estratificado o de dos etapas).
 - d. Definir la unidad de muestreo (p.ej., área fija, área fija anidada, radio variable, grupo, permanente o temporal) y la intensidad de muestreo. Ésta última tomará en cuenta las restricciones presupuestarias, la precisión deseada, la escala/resolución deseada, la heterogeneidad forestal y el tamaño de la parcela.
 - e. Distribuir las muestras y elaborar mapas para la implementación del inventario.
 - f. Diseño y justificación de los documentos.
- Preparar la implementación del inventario
 1. Definir la organización y la administración del inventario.
 2. Seleccionar y adquirir la tecnología y los equipos de medición.
 3. Elaborar mediciones de campo y protocolos de manejo de datos.
 4. Crear una base de datos del inventario.
 5. Organizar y capacitar al personal de campo y administrativo.
 6. Diseñar planes tácticos que sirvan de guía al despliegue de los equipos de campo.
- Implementar el inventario
 1. Recopilar los datos de medición de campo e introducirlos en la base de datos.
 2. Hacer auditorías internas periódicas (mediante nuevas mediciones de la parcela) a través de la implementación para confirmar que se han respetado los protocolos e identificar y corregir cualquier error en las mediciones.
- Análisis y reporte
 1. Verificación de datos/control de calidad.
 2. Analizar los datos y calcular las estimaciones y la incertidumbre.
 3. Elaborar reportes y resumir los resultados.
 4. Enviar los resultados a expertos técnicos externos para que los verifiquen (como parte del proceso de verificación de la CMNUCC de REDD+).

Los datos de un inventario forestal de carbono coinciden en gran medida con los datos de un inventario de madera y pueden suplir otras necesidades de manejo de otras tierras y de manejo de fauna. Quizás sea posible extender el uso de los datos recopilados o extender el rango geográfico de un inventario forestal de carbono y así satisfacer conjuntamente las necesidades de inventario de carbono y de manejo de otros recursos. Este tipo de intercambio de datos puede hacer que el inventario sea más rentable y garantizar recursos de una mayor cantidad de recursos, ya que múltiples usuarios de información

podrían abogar por su continuo financiamiento. Por ejemplo, el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México, llevó a cabo un eficaz proceso de consulta para identificar la información que necesitarían varios de los usuarios del inventario. Otro ejemplo lo constituyen los inventarios nacionales forestales, que cuentan con el apoyo del programa nacional de monitoreo y evaluación forestal de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO); además de la recopilación de información sobre los tipos de madera y su volumen, estos inventarios recogen datos sobre las reservas de carbono, los productos forestales distintos a la madera y los indicadores socioeconómicos¹³. Las actividades REDD+ pueden abarcar amplias áreas de tierra y puede que con el tiempo abarquen países enteros, por lo que la medición, el reporte y la verificación (MRV) debería estar en una escala correspondiente. En los inventarios forestales de carbono hay economías de escala, lo que significa que los inventarios que cubren un área mayor resultan ser menos costosos cuando el costo se calcula por hectárea.

Las medidas de campo son elementos cruciales tanto en muestreos tradicionales basados en probabilidades como en enfoques de estimación basados en modelos que consisten en la interpretación de imágenes obtenidas por sensores remotos. La forma más exacta de considerar el inventario forestal es verlo como un conjunto de procedimientos y tecnologías que conforman un sistema. El Sistema de Información Geográfica (SIG) y los enfoques de sensores remotos (consulte el Capítulo 5) forman parte de este sistema y facilitan el mapeo, la estratificación y la implementación de estrategias de muestreo. En este contexto, los nuevos enfoques basados en los modelos aplicados al desarrollo y relacionados con la biomasa y los datos de los sensores remotos (consulte el Capítulo 5, tecnologías emergentes) prometen complementar, y no sustituir, las prácticas “tradicionales” de medición de campo y los enfoques basados en las probabilidades.

Este capítulo también se centra en la derivación de datos específicos de cada país o región que podrían ser utilizados con un método de *Nivel 2* o *Nivel 3*. Los métodos de *Nivel 1* dependen del uso de valores por defecto.

Como se dijo en el Capítulo 3, el IPCC reconoce dos métodos para estimar los cambios en el carbono: el método de ganancia y pérdida y el método de cambio en las reservas¹⁴ y establece *Niveles* jerárquicos de especificidad de datos (IPCC, 2006). Este capítulo se centra en la implementación del método de cambio en las reservas. En la Sección 4.9 se hablará sobre el método de ganancia y pérdida que se centra en la identificación y medición de flujos. Una discusión más profunda sobre los métodos de ganancia y pérdida y de cambio en las reservas se incluye en la Sección 2.1 de Documentación de Métodos y Directrices de la Iniciativa Global de Observación Forestal (GFOI) (GFOI 2013). Las directrices de muestreo y medición que se presentan en este capítulo son relevantes tanto para el método de cambio en las reservas como para el método de ganancia y pérdida. Se puede repetir la medición de las parcelas de muestreo para estimar las reservas en dos periodos de tiempo o para estimar las ganancias (p.ej., incremento de diámetro) y las pérdidas (p.ej., mortalidad). En este último caso, en el de ganancia y pérdida, las medidas se utilizan para producir factores de emisión vinculados con transiciones específicas de la estructura del bosque (p.ej., de bosque intacto a bosque degradado), que luego se expande usando datos de actividad, derivados mediante la delineación del área de dichas transiciones. En contraste, el método de cambio en las reservas no produce factores de emisión ni datos de actividad, sino estimaciones generales de las reservas del área total bajo MRV (que se mantienen constantes) correspondientes a dos periodos de tiempo, y estima las emisiones como la diferencia entre las dos estimaciones. En comparación, el método de cambio en las reservas es menos específico que el método

¹³ Ver <http://www.fao.org/forestry/nmfma/47655/en/>

¹⁴ La OBP-UTCUTS (IPCC, 2003) usa el término cambio en las reservas, mientras que la Directriz de 2006 usa el término diferencias en las reservas (IPCC, 2006). Las Partes no incluidas en el Anexo 1 no han tomado una decisión con respecto al uso de las Directrices de 2006, y, por lo tanto, a lo largo de este manual usamos el primer término, a pesar de que las Directrices de 2006 están más actualizadas y usan el segundo.

de ganancia y pérdida, pero es más adecuado para los paisajes en los que el área forestal cuya estructura está en proceso de transición es difícil de delinear o cuya distribución en grandes áreas es relativamente uniforme.

4.2 RESERVAS DE CARBONO Y SU MEDICIÓN

Los inventarios de carbono forestal de REDD+ deberían cuantificar las reservas de carbono en depósitos que podrían cambiar significativamente bajo el mecanismo de REDD+ o bajo el nivel de referencia de REDD+. Se pueden abordar otras metas de manejo de recursos pidiéndoles a los equipos que recopilen datos adicionales de diferente tipo, mientras llevan a cabo su trabajo de inventario de carbono. Aunque en el Capítulo 3 se describen diferentes reservas de carbono, la información que figura a continuación resalta consideraciones específicas de los inventarios forestales.

Todos los inventarios deberían medir árboles vivos por encima de un tamaño modesto porque la biomasa por encima de la tierra (descrita en la Sección 4.2.1) suele ser el mayor depósito de carbono biótico de los bosques, y que se podría perder como consecuencia de la deforestación. Si tierras forestales se convierten en tierras de uso agrícola o de explotación, podrían perderse cantidades sustanciales de carbono del suelo (descrito en la Sección 4.2.5), y, por lo tanto, se podría justificar el monitoreo de las reservas de carbono orgánico del suelo. Si los bosques sufren una perturbación sustancial como consecuencia de la degradación, podría resultar importante medir las reservas de carbono de la madera muerta (descritas en la Sección 4.2.3).

4.2.1 Biomasa por encima del suelo

En un bosque, la biomasa por encima del suelo suele emitir la mayor cantidad de carbono cuando es convertida en un área no forestal. No obstante, en algunos sistemas (p.ej., los humedales de turba) las pérdidas de carbono del suelo como consecuencia de la conversión de bosque a tierra de cultivo pueden ser mayores que las emisiones de la biomasa por encima de la tierra.

Un ejemplo de un conjunto de categorías de tamaño por defecto sería uno en el que la categoría de árbol tiene un diámetro a la altura del pecho (DAP) de al menos 10 centímetros, y la categoría de matorral/árbol pequeño incluye plantas leñosas de al menos 10 centímetros, 50 centímetros o 1 metro de alto. Por lo general, se excluyen —o se miden por separado de las plantas leñosas de mayor tamaño— tanto las plantas leñosas de menor tamaño como las plantas no leñosas. Para aumentar la eficacia del muestreo, podría haber subcategorías tales como árboles pequeños de entre 10 y 40 centímetros de DAP y árboles grandes de más de 40 centímetros de DAP. Para estimar con exactitud la reserva de carbono forestal de la biomasa viva, el inventario debería incluir todas las especies de árboles, contando los árboles de al menos 10 centímetros de diámetro. A menudo, los inventarios forestales que se limitan a especies comerciales o a árboles de diámetro comercial (p.ej., más de 30 centímetros de DAP) excluyen componentes importantes de la biomasa total por encima de la tierra, y, por consiguiente, ofrecen una limitada fiabilidad en la estimación de las reservas de carbono y de los cambios en las reservas.

4.2.2 Biomasa subterránea

La biomasa subterránea constituye un depósito importante de carbono que podría ser equivalente al 25 % o más de la biomasa por encima del suelo de muchos bosques. Como se dijo en el Capítulo 3, a menudo se excluyen las raíces finas o se miden como parte del depósito de carbono del suelo por las dificultades que supone separarlas manualmente del suelo. La diferencia entre las raíces finas y gruesas

depende del método utilizado para estimar la biomasa subterránea. El IPCC recomienda un diámetro de 2 milímetros, pero medir la biomasa de raíz requiere de mucho tiempo y es costoso. Por lo tanto, los diseñadores del inventario de REDD+ podrían optar por aplicar un enfoque de Nivel I para el caso de la biomasa subterránea que use las proporciones raíz-tallo por defecto que figuran en la Tabla 4.4 de la Orientación del IPCC de 2006. Para calcular la biomasa subterránea, multiplique la biomasa por encima de la tierra por 1 + la proporción raíz-tallo.

4.2.3 Madera muerta

La madera muerta, subcomponente de la materia orgánica muerta, incluye la madera muerta en pie y caída. Por lo general, la madera muerta en pie se mide junto con la biomasa de árboles vivos (consulte la biomasa por encima de la tierra) y se registra como madera muerta porque su densidad suele diferir de la de los árboles vivos. Por costumbre, los tallos leñosos de madera muerta en los que el eje largo del tallo está a 45 grados del vertical se clasifican como madera muerta en pie, mientras que los tallos en los que el eje largo está a más de 45 grados del vertical se clasifican como madera muerta caída. Normalmente, el tamaño mínimo de un detrito leñoso grueso es de 10 centímetros de diámetro y a veces también hay un requisito de longitud mínima, según el cual las piezas deben tener como mínimo 1 metro de largo. Las piezas que no son lo suficientemente largas para ser clasificadas como detrito grueso, son clasificadas como detrito fino. Un tamaño mínimo común para las piezas de detrito fino es un centímetro, y las piezas más pequeñas se clasifican como hojarasca. Si se mide la hojarasca, la definición límite debe corresponder a la pieza más pequeña de detrito leñoso, para que cualquier pieza de material se ajuste con exactitud a una categoría y no se excluya ni se cuente dos veces.

4.2.4 Hojarasca

La hojarasca, incluye los detritos leñosos finos, el follaje y las ramitas que están en el suelo y que no están adheridas al tallo de una planta, así como a las raíces finas vivas que están por encima del suelo mineral u orgánico. Una capa húmica de suelo orgánico consiste en los restos descompuestos de material vegetativo y no se suele incluir en el depósito de hojarasca. Por el contrario, se incluye comúnmente en el depósito del suelo, pero si este depósito ocurre con poca frecuencia, se puede incluir en el depósito de hojarasca. Los detritos leñosos finos consisten en pequeñas piezas de madera muerta. Por costumbre, el material de menos de 1 centímetro de diámetro se define como hojarasca. Sin embargo, en la definición de depósito de hojarasca se pueden incluir los detritos leñosos finos de hasta 10 centímetros de diámetro, sobre todo, si no hay depósito de dichos detritos. Sea cual sea el límite que se escoja, se debe usar el mismo límite tanto para el tamaño máximo de las piezas del depósito de hojarasca como para el tamaño mínimo de las piezas del depósito de detritos leñosos.

En algunos tipos de bosque, la hojarasca tiende a descomponerse con facilidad, y, como resultado, quizás no valga la pena medirla, ya que el depósito no suele ser de gran tamaño. No obstante, se podría formar una capa orgánica si la descomposición se ve ralentizada por factores como las frías temperaturas, la saturación de humedad, un pH bajo o la limitación de nutrientes. Como ejemplos de esto están los suelos de turba y fango. La turba es una acumulación de material de plantas mínimamente descompuesto, mientras que el fango es material orgánico negro y descompuesto. Si entre la hojarasca y el suelo mineral hay una capa significativa de materia orgánica descompuesta, ésta debería medirse por separado de la hojarasca y de los reservas de carbono del suelo mineral.

4.2.5 Materia orgánica del suelo

Como se dijo en el Capítulo 3, esta categoría incluye todo el carbono orgánico que se encuentra a una profundidad específica en los suelos minerales y orgánicos. En los suelos no suele haber carbono inorgánico, con excepción de aquellas zonas cuyo alto nivel de aridez impide el crecimiento de gran cantidad de árboles y las zonas con suelos carbonosos como la caliza. Aunque a una profundidad de varios metros hay a menudo cantidades medibles de carbono orgánico del suelo, el carbono se suele contar si se encuentra en los 20 o 30 centímetros superiores del suelo, pero algunos proyectos han medido el carbono del suelo a una profundidad de un metro o más. La densidad del carbono del suelo disminuye con la profundidad y la cantidad de esfuerzo necesario para tomar muestras de carbono del suelo aumenta con la profundidad.

Las reservas totales de carbono del suelo son a menudo tan grandes como las reservas de carbono de la biomasa leñosa, o incluso mayores. Es poco probable que las reservas de carbono del suelo sufran grandes cambios cuando en el bosque hay una pequeña o moderada perturbación. Como resultado, muchos proyectos que mantienen los bosques existentes no miden las reservas de carbono del suelo, porque se asume que las reservas son constantes. Sin embargo, en el caso de la tala forestal y de la conversión a la agricultura, las reservas de carbono de los suelos podrían sufrir grandes cambios y deberían medirse, sobre todo si las actividades agrícolas incluyen el arado.

El tamaño límite de las raíces y de la madera muerta que ha de incluirse en la categoría de carbono del suelo debe corresponderse con las definiciones usadas en las categorías de biomasa subterránea viva y madera muerta. Por costumbre, las raíces vivas de menos de 2 milímetros de diámetro se clasifican a menudo como parte de la reserva de carbono del suelo, mientras que las raíces vivas de 2 o más milímetros se clasifican como biomasa subterránea viva. Existe un nivel menor de estandarización del límite que define la diferencia entre carbono del suelo y detritos leñosos. No obstante, el límite suele definirse como un tamaño específico de pieza o el grado al que las piezas están enterradas. Las directrices del IPCC especifican reportes por separado de los cambios en las reservas de carbono del suelo orgánico y en las reservas de carbono del suelo inorgánico (pero se asume que los cambios en las reservas de carbono del suelo inorgánico son iguales a cero, a no ser que se usen los métodos de Nivel 3) (IPCC 2006). Como resultado, si es posible la presencia de carbono del suelo inorgánico, deberían evitarse las pruebas de laboratorio que no diferencian entre carbono orgánico e inorgánico. Si se está midiendo el carbono del suelo, la profundidad a la que se medirá el suelo constituye una decisión crucial. En los sistemas que no sufren perturbaciones, hay más carbono del suelo por centímetro de profundidad en la superficie que a 40 o 100 centímetros de profundidad. A profundidades de entre más de uno y tres metros, la densidad del carbono del suelo es baja, y los cambios que se registran en las reservas son lentos, pero las cantidades totales pueden ser significativas por el gran tamaño de la masa de suelo. En bosques cerrados, húmedos y lluviosos, la mayoría de los cambios en el carbono del suelo se registra cerca de la superficie, en los 20 o 30 centímetros superiores. No obstante, en bosques de árboles más áridos, puede haber una pérdida sustancial de carbono en el suelo más profundo, a profundidades de hasta un metro o más. En los años y décadas posteriores a la conversión a campos arados, se suele perder entre el 40 y el 50 % de este carbono. Cuando se cambia del arado a árboles o a siembra directa, es posible que la mitad de la ganancia de carbono del suelo en los primeros 5 o 10 años se encuentre en los 10 centímetros superiores del suelo.

Para capturar la mayor parte del cambio en las reservas de carbono que resultan de los cambios en la explotación de la tierra, al mismo tiempo que se limita el esfuerzo de muestreo, muchos inventarios sólo toman muestras de los 20 o 30 centímetros superiores del suelo. En las áreas de bosques húmedos, secos, matorrales y pastizales en las que hay conversión a la agricultura, las pérdidas de carbono del suelo suelen ser lo suficientemente grandes como para justificar el costo y la dificultad de medir las

pérdidas de carbono del suelo a un metro de profundidad. En los bosques lluviosos y en los suelos de textura gruesa en los que hay poco carbono, puede que resulte eficaz medir solamente el carbono del suelo que se encuentra a 20 o 30 centímetros de profundidad. Este muestreo poco profundo es común sobre todo en aquellos inventarios que se centran en detectar los incrementos en las reservas de carbono. Detectar mayores cambios en términos porcentuales resulta más fácil con el muestreo. La mayor parte de las ganancias en carbono del suelo en los primeros años de conversión de cultivo a bosque se encuentra en los centímetros superiores del suelo. Por lo tanto, la ganancia en términos porcentuales es mayor cuando sólo se miden los centímetros superiores. En la conversión de tierra de cultivo labrada a pastizal puede haber ganancias significativas de carbono a más de un metro de profundidad y quizá valga la pena hacer un muestreo a gran profundidad.

Cuando se mide la pérdida de carbono del suelo tras la conversión de bosque o pastizal a tierra de cultivo con arado, el cambio porcentual en la reserva de carbono puede ser mayor, incluso cuando se mide a profundidades significativas, tales como a 50 o 100 centímetros. Como resultado, los proyectos de deforestación evitada pueden tomar muestras de suelo a profundidades de más de 30 centímetros (p.ej., a 1 metro de profundidad) a fin de poder reivindicar créditos por evitar emisiones de carbono del suelo profundo.

4.3 CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE UN INVENTARIO

Para estimar las reservas de carbono forestal se pueden utilizar muchos diseños posibles de inventario. El objetivo es escoger un diseño eficiente que alcance el nivel deseado de precisión a un costo mínimo. En términos generales, el proceso de diseño del inventario consiste en una secuencia de pasos:

- 1) Evaluación de las necesidades
- 2) Selección del diseño de muestreo
- 3) Consideraciones en el diseño de la parcela
- 4) Evaluación de los costos y especificación de la intensidad del muestreo

4.3.1 Evaluación de las necesidades

La primera decisión que debe tomarse al diseñar un inventario es evaluar qué se debe saber como resultado del inventario. Para esto se debe decidir qué se va a estimar y en qué áreas geográficas. El ámbito geográfico podría ser un terreno que sólo abarca docenas de hectáreas, un país entero o un área intermedia. Asimismo, puede que al principio las actividades de monitoreo de REDD+ sólo se centren en tierras clasificadas como bosque explotado o bosque sujeto a cambio antropogénico.

Luego debe decidirse si se subdividirá el área total en la que se necesita información adicional. Los países deberían tener como objetivo el entender las tendencias en regiones específicas o en tipos de bosque específicos. Hacer estimaciones exactas de las reservas y los cambios de todos los estratos incrementarán los costos de forma significativa y puede que no sea el enfoque más eficiente.

Al planificar el diseño del inventario deberían tomarse en cuenta y usarse como punto de partida las capacidades existentes y la experiencia del personal que participará en las mediciones y en el análisis de campo, tal y como lo especifica la COP19 (Decisión 11/CP. 19 párrafo 4 (a)), los SNMF “deberían

basarse en los sistemas existentes”. El uso de nuevos enfoques o de nuevas tecnologías debería hacerse de forma paulatina y únicamente después de un período de prueba en el que estos nuevos mecanismos se hayan ganado la confianza del personal responsable.

4.3.2 Selección del diseño de muestreo

El muestreo debe ser imparcial para así garantizar que los inventarios resultantes sean fiables. Hay muchas opciones para elaborar un diseño de muestreo. En la Figura 4.1 se ilustran y desarrollan cuatro enfoques comunes: 1) muestreo aleatorio; 2) muestreo sistemático; 3) muestreo estratificado (aleatorio o sistemático); y 4) muestreo de dos fases.

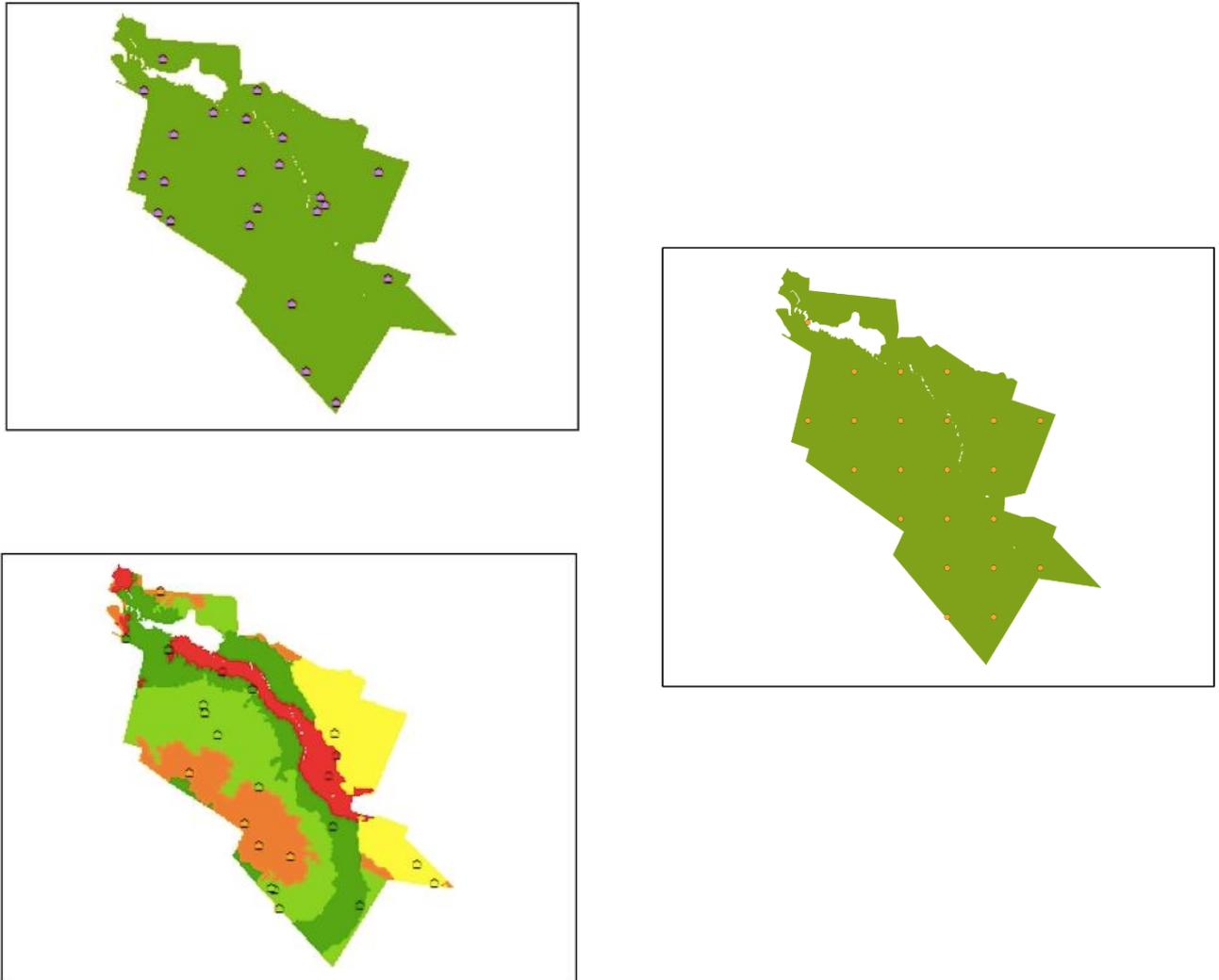


Figura 4.1. Diagrama de muestreo aleatorio (imagen superior), sistemático (imagen derecha) y estratificado aleatorio (imagen inferior).

Muestreo aleatorio

Un enfoque de muestreo aleatorio localiza al azar parcelas de un área de estudio. La principal ventaja del muestreo aleatorio es la sencillez de los cálculos de las medias y de la incertidumbre. En la práctica, la asignación aleatoria de parcelas suele suponer un reto para su posicionamiento en el campo y siempre da como resultado distribuciones de parcela que toman pocas muestras de algunas áreas y demasiadas de otras, y esto, aunque imparcial, puede dar la sensación de que falta una cobertura fiable. Los inventarios deben tomar en cuenta las apreciaciones de los especialistas y de quienes no lo son. Por ejemplo, a quienes no son especialistas les puede costar entender exactamente qué es el sesgo y quizás se les dificulte aceptar el muestreo aleatorio y los protocolos que ubican parcelas en áreas que, según su punto de vista, no son representativas del bosque. Durante eventos de capacitación, se debería explicar en qué radica la importancia de medir las diversas condiciones que se dan en la extensión geográfica del

inventario y que cuantificar esta variabilidad es un elemento crucial para cuantificar la fiabilidad con la que las muestras representan el bosque como un todo.

Muestreo sistemático

En vez de esto, muchos inventarios nacionales forestales usan un diseño de muestreo sistemático, en el que se miden parcelas separadas de forma regular. Una muestra sistemática garantiza que todas las áreas geográficas estén representadas uniformemente y esto resulta especialmente útil si se sabe muy poco sobre las condiciones o la dinámica del bosque. Es un diseño intuitivo que además facilita la navegación en campo.

Normalmente, en el muestreo sistemático se coloca una red regular en el área geográfica objeto del inventario y se colocan centros de parcela en los puntos de intersección de la red, aunque el primer punto de intersección se coloca aleatoriamente. El espaciado de las líneas de la red se calcula de forma que en el área se pueda colocar el número deseado de parcelas. Muchos consideran que el muestreo sistemático resulta un método atractivo ya que le da el mismo énfasis a todas las áreas objeto de muestreo. Existe una variación del muestreo sistemático en la que dentro de cada celda definida por las líneas de la red se coloca una parcela (tal y como se hace en el Programa de Inventario y Análisis Forestal del Servicio Forestal de Estados Unidos). El muestreo sistemático ofrece una mejora significativa en comparación con el muestreo aleatorio simple debido a su menor incertidumbre, aunque el cálculo de la incertidumbre de las muestras sistemáticas es menos directo que en el caso de las muestras aleatorias.

La Evaluación integrada del uso del suelo (ILUA, por sus siglas en inglés), llevada a cabo por el Departamento Forestal de Zambia (2005-2008), es un ejemplo del uso del muestreo sistemático en la elaboración de un inventario nacional forestal reciente. La ILUA estableció sistemáticamente 221 vías (cada vía cuenta con 4 parcelas de muestreo) a lo largo y ancho del país a una distancia de 50 kilómetros entre ellas. México es otro ejemplo, en el que el inventario nacional forestal y de suelo estableció una red de muestreo sistemático con 25 000 puntos georreferenciados permanentes. Cada punto tiene cuatro áreas de 400 m². A partir de 2008, se ha vuelto a medir aproximadamente el 20 % de los puntos, de forma que todos los puntos son monitoreados una vez cada cinco años (GOFC-GOLD, 2013).

Muestreo estratificado

El muestreo estratificado se logra dividiendo el área de muestreo en subáreas relativamente homogéneas y tomando muestras por separado de cada una de ellas. La estratificación aumenta la eficiencia del muestreo, lo que da como resultado estimaciones más precisas con el mismo o menos esfuerzo. Dentro de cada estrato se toma una muestra sistemática o aleatoria simple. Se estima la reserva de carbono (o el cambio en la reserva) de cada estrato y luego se suman las reservas de los estratos para estimar la reserva (o el cambio en la reserva) del área total.

Es importante entender que los diseños de muestras estratificadas no arrojan estimaciones a nivel de estrato con la misma precisión que en el caso de la población total. El objetivo de la estratificación es distribuir el esfuerzo de muestreo con mayor eficiencia para producir una estimación a nivel de población.

Si bien hay muchos enfoques de estratificación, es común estratificar por ecotipo o tipo de bosque. Este enfoque de estratificación aumenta el poder estadístico y arroja una estimación más precisa de las reservas de carbono de un número dado de parcelas de un diseño determinado, y, además, aumenta la probabilidad de que las parcelas de un estrato en particular sean similares a otras parcelas del mismo

estrato. Dado un número determinado de parcelas, la probabilidad de que la reserva total de carbono se aproxime a la reserva de carbono estimada mediante muestreo será mayor si la varianza entre las parcelas es menor. Los estratos homogéneos necesitan pocas parcelas para estimar con precisión sus reservas de carbono, y, por lo tanto, los esfuerzos de muestreo se pueden centrar en ecotipos y tipos forestales más variables.

Si el objetivo de un inventario es cuantificar con precisión los cambios en las reservas de carbono forestal, se le debería dar más importancia a la asignación de parcelas en áreas en las que las reservas de carbono son susceptibles de disminuir como consecuencia de la degradación o la deforestación o de aumentar gracias al crecimiento forestal y a la regeneración. Tales áreas deberían ser identificadas y delineadas como estratos prioritarios independientes. Esto significaría estratificar según el cambio que se espera en la reserva de carbono y dedicarle más esfuerzos de muestreo a los estratos que se espera que sufran mayores cambios a lo largo del tiempo (disminución o aumento).

Quizás sea conveniente estratificar según el cambio que se espera en la reserva de carbono y puede que resulte esencial si los cambios netos en las reservas son a pequeña escala en comparación con las reservas totales, como suele ocurrir con la degradación. El objetivo consiste en “bloquear” las diferencias en los distintos estratos.

Por lo general, la estratificación se lleva a cabo *ex ante*, pero también se puede redefinir los estratos *ex post* mediante la post-estratificación y se pueden redistribuir las parcelas en un panorama cambiante. La post-estratificación consiste en la redistribución de las parcelas de muestreo entre los estratos después de que se ha llevado a cabo la distribución original de parcelas, y es necesario que se conozcan con exactitud las nuevas áreas de estratos y que las parcelas existentes se reasignen si ambigüedad a los nuevos estratos (p.ej., a través del monitoreo de la cobertura forestal y de las clases de cambio con sensores remotos). Si bien el enfoque de post-estratificación es directo en cuanto a la estimación de la media se refiere, usar el mismo cálculo que se usa con la muestra pre-estratificada ocasiona incertidumbre adicional por los tamaños de muestra aleatorios y cambiantes de los estratos. Cochran (1977) presenta el cálculo de la varianza de la muestra post-estratificada. El nivel de incertidumbre adicional producido por la post-estratificación tiende a ser bajo, sobre todo en aquellos casos en los que se puede mantener la distribución proporcional de forma aproximada (p.ej., mediante una muestra sistemática original) y en los que se mantiene en cada estrato un tamaño de muestra lo suficientemente grande (de 10 o más parcelas; Westfall *et al.*, 2011). Esto se puede tomar en consideración al definir los estratos (p.ej., combinando tipos de bosque con áreas y muestras pequeñas) o al desarrollar muestras suplementarias.

El IPCC recomienda estratificar por clima, suelo, zona ecológica y prácticas de manejo (Vol. 4, Capítulo 3.3.2.1). Al escoger los estratos, los encargados del proyecto o del inventario deberían tomar en cuenta lo que se sabe sobre el bosque y la dinámica de cambio en las reservas de carbono. En cada estrato, la meta es tener un bosque relativamente homogéneo (en términos estructurales) o un bosque con la misma dinámica en la reserva de carbono, pero que al mismo tiempo el bosque sea distinto a los demás estratos. De igual o más importancia es el hecho de que el costo de colocar un gran número de parcelas en áreas forestales remotas e inaccesibles puede ser prohibitivo o imposible por razones logísticas. Por lo tanto, la intensidad de muestreo seleccionada para estas áreas puede ser menor que en áreas de fácil acceso. En este caso, las áreas con distinta intensidad de muestreo constituyen estratos diferentes.

Para estratificar el bosque de un país, primero es necesario tener un mapa actualizado de la dimensión que se usa para estratificar. Puede ser un mapa de referencia forestal nacional u otra fuente válida de mapas. Para estratificar en cada tipo de cobertura de la tierra, se pueden usar varios datos SIG sobre elevación, los suelos y otros parámetros. En los Métodos y Directrices de la GFOI, Sección 1.4.5 (GFOI

2013), se habla más detalladamente sobre los enfoques de estratificación. Si en el país no hay información previa sobre los tipos de bosques, inicialmente, se puede hacer la estratificación usando conjuntos de datos globales y ecológicos, tales como los mapas de las zonas de vida¹⁵ Holdridge, Ecorregiones del Fondo Mundial para la Naturaleza¹⁶ y las zonas ecológicas de la FAO¹⁷. También se pueden utilizar datos recopilados con sensores remotos. Entre estos datos se incluyen índices basados en información espectral o temporal, tales como índices de verdor y de estacionalidad, así como clasificaciones o productos derivados, tales como mapas globales de biomasa hechos por programas de investigación. Para más información sobre este tema, consulte el Capítulo 5.

El valor de la estratificación se ilustra en el siguiente ejemplo (Cuadro 4.1), en el cual los tamaños de muestra que se requieren para llegar a intervalos de confianza del 95 % equivalente al ± 10 % de la media se calculan para un conjunto de datos con y sin estratificación.

		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Total
Área (ha)		2500	7000	12 000	10 000	31 500
Observaciones piloto		20	90	65	50	
		30	110	25	85	
		70	180	95	120	
		120	140	40	75	
		25	75	90	170	
		45	110	65	100	
Media		51,7	117,5	63,3	100,0	83,1
Desviación estándar		38,0	37,6	27,3	41,6	43,6
CV		74 %	32 %	43 %	42 %	52 %
Diseño 1	Tamaño de muestra para 4 inventarios forestales independientes	217	41	74	69	402
Diseño 2	Tamaño de muestra (no estratificada)					110
Diseño 3	Tamaño de muestra (estratificada con distribución Neyman entre los estratos)	6	16	20	25	67

Cuadro 4.1: Comparación de las intensidades de muestreo requeridas para diseños de muestra estratificada y no estratificada

El diseño 1 permite reportar con la precisión deseada al nivel individual de estrato implementando un esfuerzo independiente de muestreo en cada estrato del bosque. Es importante tomar esto en cuenta, ya que esa estratificación, como se muestra en el Diseño 3, alcanza la precisión deseada a nivel de población, y no a nivel de estrato. Por ejemplo, los estratos altamente variables que abarcan áreas pequeñas, como el estrato 1 en el Cuadro 4.4, tendrá menor influencia en el número total de parcelas

¹⁵ <http://geodata.grid.unep.ch/>

¹⁶ <http://www.worldwildlife.org/science/data/terreco.cfm>

¹⁷ <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>

necesarias que aquellos estratos que abarcan grandes áreas, como los estratos 3 y 4. La ventaja de la estratificación queda ilustrada al comparar los Diseños 2 y 3, los cuales están diseñados para generar estimaciones a nivel de población, y sin embargo requieren niveles substancialmente distintos de esfuerzo de campo: 67 parcelas de muestreo para el diseño estratificado (Diseño 3) y 110 parcelas para el diseño no estratificado (Diseño 2), que ignora las fuentes de variabilidad de la población.

Muestreo de dos etapas

El muestreo de grandes áreas de difícil acceso requiere de un despliegue eficiente de esfuerzo de campo, ya que el traslado entre las unidades de muestreo consume la mayor parte del tiempo y de la inversión de trabajo en el inventario forestal. Esto se puede conseguir utilizando un muestreo de dos etapas, que consiste en un muestreo de dos pasos. Por ejemplo, en el primer paso se podrían seleccionar polígonos para tomar muestras de una población de polígonos, mientras que el segundo paso podría componerse de la distribución de puntos de muestreo en los polígonos seleccionados. Si bien el muestreo de dos etapas introduce una fuente adicional de error de muestreo, concentra el esfuerzo de campo y permite minimizar el esfuerzo general.

4.3.3 Factores a tomar en cuenta en el diseño de la parcela

Entre los factores a tomar en cuenta en el diseño de la parcela se incluye el tipo de parcela que se va a utilizar, así como el tamaño de la parcela. Los diseñadores del inventario también deberán tomar en cuenta si las parcelas serán permanentes o temporales, y las variables tienen que ser medidas. A continuación se trata cada uno de los factores.

Tipos de parcela

En un inventario forestal, las opciones típicas de diseño de parcela son:

- **Puntos** (sin dimensión): Se pueden implementar parcelas de radio variable usando un relascopio o un prisma de cuña, en las que se puede determinar que un árbol está dentro o fuera en función de la proporción de su diámetro y la distancia que lo separa del centro de la parcela.
- **Líneas** (de una dimensión): en una línea de muestreo ¹⁸ se puede observar cuántas características intersectan con la línea. Se puede usar este método para calcular el volumen de detrito leñoso grueso.
- **Áreas** (de dos dimensiones): se miden todos los árboles de un área determinada. A estas parcelas se las suele llamar parcelas “de área fija” debido a que su tamaño es fijo. Normalmente, las parcelas de área fija son circulares o rectangulares (incluidos los transeptos).

¹⁸ Es importante mencionar que no es lo mismo una parcela de líneas de muestra que un diseño de parcela de transepto. El diseño de parcela de transepto es un área (de dos dimensiones), aunque sea largo y estrecho.

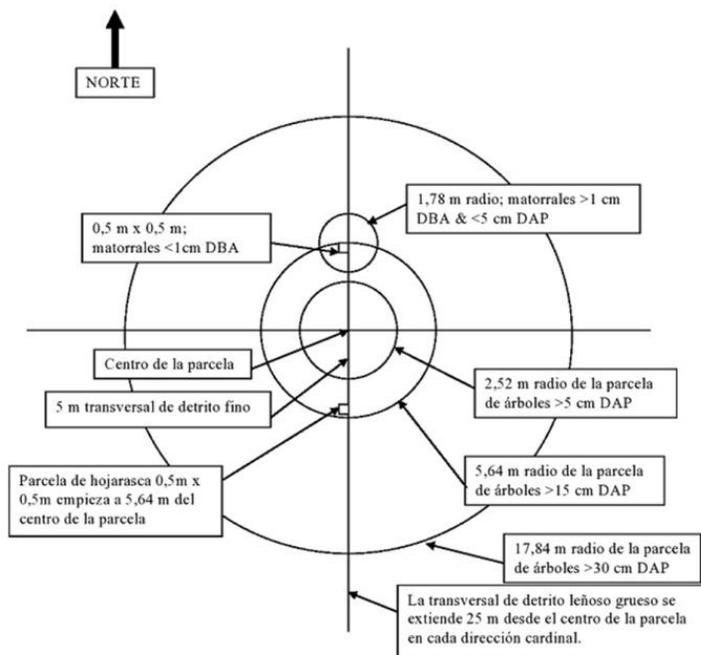


Figura 4.2: Diseño de muestreo que incluye parcelas anidadas y muestras de línea para medir los distintos tipos de reservas de carbono. De Smith et al. (2007).

Se pueden combinar parcelas de distintos tipos para lograr eficacia en la medición de distintas formas de biomasa forestal, como la combinación de líneas con parcelas de área fija o puntos de parcela dentro de las cuales se toman muestras de madera muerta caída y biomasa por encima de la tierra, respectivamente (Figura 4.2.).

Las parcelas de área fija pueden tener distintas formas: circular, cuadrada o rectangular. Normalmente, es preferible que las parcelas sean circulares porque tienen el menor perímetro para la misma área, lo que reduce la cantidad de árboles fronterizos. Por el contrario, en los bosques con escasa visibilidad y penetrabilidad, se suelen preferir los transeptos o cortes transversales a fin de facilitar el acceso a toda la parcela y garantizar que no queden árboles sin contar. Asimismo, los transeptos tienden a abarcar un mayor número de condiciones de emplazamiento, lo que aumenta la variabilidad en las parcelas.

La distribución típica del diámetro en un bosque maduro en un gráfico tiene forma de J negativa (es decir, un gran número de árboles pequeños y pocos árboles grandes). Los diseños anidados que incorporan subparcelas de área fija de distinto tamaño, con distintas clases de diámetro, permiten un mayor nivel de eficacia en las mediciones de la parcela, ya que distribuyen el esfuerzo de medición con mayor uniformidad entre las distribuciones de diámetro. Se logra la misma eficacia, e incluso se supera, al usar parcelas de radio variable, que toman muestras de árboles con una probabilidad proporcional al tamaño.

Las parcelas de área fija y de radio variable representan opciones igualmente válidas para un inventario forestal (Grosenbaugh y Stover, 1957; Schreuder et al., 1987). Si bien las parcelas de radio variable son más efectivas en dirigir los esfuerzos de muestreo a los elementos más influyentes de una población (árboles de gran tamaño), son difíciles de usar en rodales densos de árboles pequeños (p.ej., bosque en las primeras etapas sucesionales). Más importante aún, elegir entre parcelas de área fija o de radio variable depende del nivel de comodidad y familiaridad del personal. A menudo se recomienda seguir con la tradición para evitar los largos períodos de aprendizaje y los consecuentes errores de medición.

Tamaño de la parcela

La evaluación del “tamaño” de la parcela varía según el tipo de parcela. En el caso de las parcelas de líneas, la longitud representa el elemento clave, mientras que en las parcelas de prisma, el elemento clave es el factor prisma, que es la proporción entre el diámetro y la distancia desde el centro de la parcela que determina si un árbol se mide o no. En las parcelas de área, el tamaño de la parcela es simplemente al área que abarca la parcela. Estos elementos determinan el “tamaño” de la parcela y cuántos árboles se incluyen.

Los tipos y tamaños de parcela deberían ser constantes en los estratos. Sin embargo, en distintos estratos se podrían usar distintos tipos de parcela para que se adapten a distintas estructuras y logísticas forestales.

El tamaño de la parcela afecta la variabilidad de las reservas de carbono que se observa en distintas parcelas, y la variabilidad utilizada en los cálculos de las parcelas que se necesitan en el inventario supondrá un diseño aproximado de parcela. Cuando se diseña un inventario para alcanzar un nivel deseado de precisión, se recomienda analizar datos reales de la parcela para estimar la variabilidad que habrá si se seleccionan distintos tamaños de parcela para tamaños o tipos de árboles distintos. Las parcelas de mayor tamaño tienen más variación en la estructura forestal, y, por consiguiente, tienen una menor variabilidad entre las parcelas. Por lo tanto, se puede reducir la intensidad requerida de muestreo aumentando el tamaño de la parcela (ver sección a continuación).

Asimismo, definir la unidad de muestreo como un grupo de parcelas puede utilizarse como medio para reducir la variabilidad entre las muestras. Un ejemplo de patrón de grupo sería cinco parcelas por grupo, en el que una parcela se ubica en el punto central del grupo y las cuatro parcelas restantes se colocan con centros de parcela a 200 metros de distancia del centro del grupo, en las direcciones cardinales. Los datos se analizan usando medias de grupo y no los valores observados en las parcelas individuales. Por lo tanto, la unidad de muestreo es el grupo y no la parcela, y se logra la misma reducción en la variabilidad entre las parcelas que con los mayores tamaños de parcela. En efecto, el grupo es simplemente una parcela mayor y desagregada.

En el campo, podría ser necesario ajustar las parcelas para compensar las consideraciones de pendiente y límite. Los inventarios forestales reportan mediciones de áreas horizontales. Las correcciones de pendiente, en las que se aumenta el tamaño de parcela, pueden compensar el hecho de que las distancias medidas en una pendiente son menores cuando se proyectan en un plano de mapa horizontal. Normalmente, estas distancias sólo se aplican si la pendiente es mayor del 10 %. En los casos en los que las parcelas se superponen al área del inventario, se aplican correcciones para producir mediciones equivalentes de un muestreo completo (p.ej., usando el método de espejismo) o, en el caso de las parcelas de radio variable, el método de guía (Avery y Burkhart 1994; Ducey *et al.*, 2004).

Comparación de parcelas permanentes y parcelas temporales

Las parcelas permanentes, que se vuelven a medir periódicamente (p.ej., cada cinco años), permiten estimar con mayor precisión el crecimiento y las perturbaciones de las masas forestales (dado un número determinado de parcelas), y, por lo tanto, pueden cuantificar pequeños incrementos o disminuciones en las reservas. Normalmente, cuando se mide el carbono forestal, es necesario detectar la magnitud de cambio en las reservas de carbono en un período breve, de cinco años o menos, por ejemplo. Obsérvese que el clima y las perturbaciones pueden ocasionar en la reserva de carbono forestal cambios anuales mayores que los cambios antropogénicos, y los intentos por cuantificar los

cambios anuales en las reservas de carbono forestal producto de las actividades humanas pueden verse frustrados por el clima y los incendios forestales.

Cuando se establecen parcelas permanentes, es recomendable incrementar entre un 5 y un 20 % el número mínimo de parcelas según el número de referencia de parcelas necesarias, creando así un colchón en caso de que no se puedan reubicar algunas de las parcelas permanentes o cambie la cobertura de la tierra. Existe el riesgo de que los usuarios de bosques o los gerentes de plantaciones traten de forma distinta las parcelas cuando éstas están marcadas de forma visible, y, por lo tanto, sería recomendable marcar los centros de la parcela con hitos que no sean visibles al ojo humano. Por ejemplo, se podría colocar un poste de metal en la tierra para hacer la reidentificación con un detector de metales (Smith *et al.*, 2007; Díaz, 2011).

Las parcelas temporales se usan a menudo en los inventarios de madera. Una de las ventajas de las parcelas temporales es que con el tiempo se pueden cambiar con facilidad los límites de los estratos y la intensidad de muestreo.

Medición de parámetros

Los parámetros que se deben medir en las parcelas de muestreo dependen de las reservas de carbono de los interesados y de las ecuaciones alométricas que se utilizarán para convertir las mediciones de árboles en biomasa. Es muy recomendable trabajar en el orden opuesto: decidir primero qué se debe saber como resultado del inventario, luego establecer los pasos del análisis, retomar los datos de la parcela y así determinar qué datos se deberían recopilar.

4.3.4 Consideraciones en cuanto a costo y especificación de la intensidad de muestreo

La intensidad de muestreo (es decir, el número de muestras medidas) determina la precisión y resolución de las estimaciones que se pueden obtener con un inventario forestal. La selección de la intensidad de muestreo depende de muchos factores, incluidas las restricciones presupuestarias, la precisión deseada, la escala/resolución deseada de estimaciones, la variabilidad del bosque y el tamaño de parcela utilizado.

El objetivo del muestreo es alcanzar la precisión deseada de la estimación de las reservas de carbono a un costo aceptable. Los costos del inventario cambian según los costos variables que son una función del esfuerzo de campo. La mayor parte del esfuerzo de campo se representa por el traslado entre las parcelas y no mediante las mediciones en ellas. Por consiguiente, los enfoques que minimizan el tiempo de traslado, incluidas las muestras de dos etapas y los diseños de muestreo de grupo, pueden aumentar la eficacia en el esfuerzo de campo. Se deberían comparar varios diseños de inventario con los datos representativos del costo para encontrar un diseño que satisfaga las necesidades específicas a un costo aceptable.

Se deben tomar en cuenta algunos principios generales que rigen la intensidad de muestreo. Primero, un número mayor de parcelas produce errores más bajos de muestreo. Para reducir la incertidumbre a la mitad puede ser necesario cuadruplicar el número de parcelas. Por lo tanto, conseguir estimaciones sumamente precisas puede ser costoso. Segundo, la precisión estadística de la estimación de biomasa depende de la variabilidad del bosque. Mientras mayor sea la variabilidad del bosque, mayor número de parcelas se necesitarán para obtener un nivel específico de precisión.

El elemento clave para estimar el número de parcelas que se necesitan para obtener un nivel específico de precisión es la variación entre las parcelas, calculada como el coeficiente de variación (CV). El CV es una medición de las diferencias entre las parcelas. Desde el punto de vista técnico, el CV es la desviación estándar dividida por la media. Estas estadísticas se abordan en la Sección 4.6.5 sobre el cálculo de incertidumbres. El Cuadro 4.2 muestra los resultados finales de un ejemplo hipotético sobre la estimación de los tamaños de muestreo necesarios para alcanzar los errores específicos de muestreo. En este caso, el número de parcelas que se necesitan para alcanzar un nivel cada vez mayor de precisión se cuadruplica para reducir la incertidumbre a la mitad. Por otro lado, el número de parcelas es relativamente independiente del tamaño del área. Los números de parcela en el muestreo estratificado dependen de la variabilidad de la reserva de carbono en cada estrato y del nivel necesario de precisión, pero no dependen de la extensión espacial del proyecto. Se puede estimar el CV a partir de sondeos previos que usen un diseño similar de parcela en bosques similares. Si no hay sondeos previos, se debería llevar a cabo un estudio piloto para estimar el CV. En el caso de parcelas pequeñas en un bosque con claros el CV puede estar por encima del 100 %. En las plantaciones cerradas, el CV puede ser menor al 30 %.

Tal y como se dijo anteriormente, las parcelas de mayor tamaño pueden igualarse a algunas de las variaciones a pequeña escala en los bosques, lo que genera menor variabilidad entre las parcelas en comparación con las parcelas de menor tamaño. Cuando se calcula el número necesario de parcelas, se debe escoger una estimación de variabilidad entre las parcelas. La variabilidad escogida implica un tamaño de parcela. Por ejemplo, dado un nivel de variabilidad, se podría asumir que en casi todas las parcelas hay al menos cuatro árboles de gran tamaño y que en muy pocas parcelas habrá claros con pocos o ningún árbol grande o mediano. Por lo tanto, cuando se escoge el tamaño de la parcela, los diseñadores del inventario tendrán que tomar en cuenta la densidad de los árboles de gran tamaño en el bosque y el rango de tamaños de los claros, y escoger un tamaño de parcela que sea lo suficientemente grande como para que la mayoría de las parcelas tenga el número necesario de árboles, a pesar del espacio existente entre las aglomeraciones de árboles en el bosque. En algunos momentos, el costo de aumentar el tamaño de las parcelas existentes ya no genera una reducción significativa de la varianza, en comparación con la que se podría lograr aumentando el número de parcelas del muestreo. Hay un balance teórico óptimo entre el tamaño de la parcela y el número de parcelas que se puede lograr a través de una combinación de experimentos de campo o conocimientos previos. No obstante, cuando se toman muestras en áreas de gran tamaño, los costos de traslado pueden tener mayor efecto sobre el costo total que el número de parcelas, y dada una cantidad específica de dinero, se puede lograr un mayor nivel de precisión estadística al usar menos parcelas y de mayor tamaño, en comparación con el óptimo teórico calculado sin tomar en cuenta los costos.

Hay sistemas más complejos de muestreo que podrían brindar mayor potencia, o no, dado un nivel específico de esfuerzo, por ejemplo, el muestreo estratificado de grupos aleatorios, muestreo de dos etapas, muestreo por series clasificadas y muestreo por paneles. Muchos inventarios tienen como objetivo mantener a los equipos trabajando de forma continua, pero sólo repiten las mediciones de las parcelas una vez cada cinco años. En tales casos, se mediría anualmente el 20 % de las parcelas, mientras que el 100 % se mediría cada cinco años. Éste es un ejemplo de un muestreo por paneles. Si se toma en cuenta cualquiera de estos sistemas más complejos de muestreo, se debería consultar a un biómetra o a un estadista para garantizar que los cálculos de intensidad de muestreo y los procedimientos de análisis de datos son los correctos.

Coeficiente de variación	Error aceptable +/-20	Error aceptable +/- 10	Error aceptable +/-5	Error aceptable +/-2
100%	98	392	1568	9801
50%	25	98	392	2450
20%	4	16	63	392
15%	2	9	35	221

Cuadro 4.2: Ejemplo del número de parcelas de muestreo que se necesitan para alcanzar los errores específicos de muestreo con muestreo simple aleatorio. El nivel significativo de un área de gran tamaño es del 95 %.

4.4 EL EQUIPO DE TRABAJO PARA INVENTARIOS FORESTALES DE CARBONO

Un equipo nacional de trabajo para inventarios forestales debería estar conformado por:

- Una entidad con responsabilidad total sobre el inventario completo y la capacidad de tomar decisiones que son vinculantes para las regiones (en caso de usar regiones). Esta entidad debe además coordinarse estrechamente con la única entidad nacional designada como responsable total del inventario de GEI. Es posible que la entidad a cargo de todo el inventario sea gubernamental o sea parte de una universidad o de alguna otra organización no gubernamental con la experiencia y la capacidad adecuadas para continuar con la operación. Esta entidad es la responsable de elaborar el inventario, lo que incluye:
 - Seleccionar el diseño de muestreo y de parcelas;
 - Establecer los protocolos para la recopilación de datos;
 - Organizar la adquisición de los instrumentos para la recopilación de datos;
 - Procesar y analizar los datos;
 - Coordinarse con el equipo de mapeo de cobertura de la tierra; y
 - Coordinarse con las regiones y usuarios de los resultados del inventario.
- Oficinas regionales responsables de:
 - Organizar y capacitar a los equipos de campo;
 - Realizar controles de calidad de la recopilación de datos llevada a cabo por los equipos de campo;
 - Proporcionar apoyo y respaldo a los equipos de campo;
 - Registrar los datos (incluida la traducción de los nombres de las especies locales a sus nombres científicos); y
 - Transmitir los datos a la oficina nacional central.

- Personal de campo responsable de la recopilación de datos.

Un aspecto clave es cómo se seleccionará al personal de campo. Un inventario nacional sólido en el que las mediciones se repiten con regularidad debería tener su propio personal. Si el inventario abarca un área muy extensa, puede ser eficiente tener personal distinto en varias regiones. El monitoreo comunitario, como se analiza en la Sección 7.2, incluidas la capacitación de miembros de la comunidad local y su incorporación en el inventario, debería ser uno de los objetivos de los inventarios nacionales. De ser posible, el personal de campo debería ser una combinación de técnicos con habilidades de medición y miembros de la comunidad local. La inclusión de miembros de la comunidad local es crucial por las siguientes razones:

- Permite el acceso a las parcelas;
- Proporciona información sobre el nombre local de las especies medidas; y
- Proporciona información sobre los usos de especies importantes halladas en la parcela.

El personal de campo necesitará capacitación para poner en práctica los protocolos seleccionados del inventario. Después de la capacitación, un supervisor experimentado debería mantener un estrecho contacto con el personal durante su primer mes de trabajo. La supervisión incluiría visitas al personal mientras este realiza el trabajo en parcelas y el control de la exactitud de sus mediciones (el aseguramiento de calidad y control de calidad se aborda más adelante). Es muy conveniente incluir a miembros de la comunidad local en el personal de campo, porque suelen conocer rutas de acceso y otra información única a nivel local. Por otro lado, es posible que capacitar a miembros de la comunidad local para recopilar mediciones del inventario forestal no sea rentable, sobre todo, si la recopilación de datos no se realiza frecuentemente. Una solución consiste en tener equipos compuestos por personas que, juntas, reúnan las habilidades necesarias para la medición, la capacidad de identificar especies y conocimientos de la zona. Esto significaría tener técnicos con habilidades de medición que se desplacen por áreas extensas y miembros del personal temporales que conozcan el terreno local y ayuden en las mediciones. El monitoreo comunitario tal vez sea más práctico para detectar y especificar la ubicación de sucesos poco frecuentes, como una nueva explotación forestal o un nuevo espacio abierto.

4.5 TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS

4.5.1 Trabajo de campo

La preparación para el trabajo de campo requiere algo más que redactar un protocolo de campo y elegir la ubicación de las parcelas. Los componentes clave para un trabajo de campo satisfactorio son:

- Planificar e implementar la logística para asegurar que la capacitación, los instrumentos, los suministros, el transporte, la comida, el alojamiento y las comunicaciones se proporcionan cuando es necesario;
- Un manual de campo que especifique cómo realizar el trabajo de campo y cómo abordar casos poco comunes;
- Objetivos de calidad para cada medición; y

- Procedimientos para comprobar los datos de campo, lo cual podría limitar los valores aceptables de los registros de datos en caso de usar grabadoras electrónicas de datos, o procedimientos en los que los miembros del equipo se controlen entre ellos, a medida que se miden y graban los datos. Los procedimientos de aseguramiento de calidad deberían incluir tanto comprobaciones inmediatas, en las que un supervisor u otra persona revise en el acto los datos repitiendo las mediciones (mientras el equipo está todavía en la parcela), como aforo de comprobación, donde un equipo distinto de manera independiente vuelve a visitar y a medir un subconjunto de parcelas, y una persona independiente compara los dos grupos de mediciones para asegurarse de que están dentro de los límites de exactitud y precisión exigidos. Debe haber un proceso para hacer observaciones al personal sobre la calidad de su trabajo, a ser posible, recompensando el trabajo de buena calidad y con capacitación complementaria en caso de hallarse defectos.

Adherir cuidados especiales a los meticulosos protocolos de medición de campo sirve para reducir el error de medición, una fuente de error frecuentemente ignorada en los inventarios forestales, en parte porque no puede calcularse fácilmente como el error de muestreo. En lugar de eso, el error de medición normalmente se evalúa volviendo a medir una muestra de parcelas mediante las revisiones en el acto descritas anteriormente. El error de medición es resultado de un sinnúmero de cuestiones, que incluyen no solo la mala medición del DAP y de la altura (especialmente esta última en bosques de hojas anchas y dosel cerrado), sino también la mala identificación de especies, la malinterpretación entre vivo y muerto, la malinterpretación de los árboles fronterizos y los límites de los estratos, y la mala implementación de los métodos de corrección de límites. A nivel de la parcela, con personal de campo bien capacitado, se puede lograr un error de medición alrededor del 4 %. Donde las mediciones de campo incluyan la altura de los árboles, el error de medición puede alcanzar el 8 %, sobre todo en un bosque de dosel cerrado.

Todos los inventarios deberían tener estándares escritos que especifiquen la inexactitud máxima permitida por cada grupo de datos. El máximo de errores permitidos se debería establecer tras consultar con expertos tanto en trabajo de campo como en análisis de datos. Se debería prestar especial atención a aquellos errores que tendrían un gran efecto sobre la estimación final de las reservas de carbono o de los cambios en las reservas.

Incluir detalles específicos de la ubicación o tipos de datos complementarios puede ser útil al comprobar y corregir errores y otros problemas. Por ejemplo, grabar la ubicación de árboles individuales dentro de una parcela y etiquetarlos ayuda a controlar si faltan árboles de la medición, a comprobar mediante aforo la exactitud de las mediciones y a reubicar el centro de las parcelas.

Es posible que los instrumentos manuales como cintas diamétricas, cintas métricas y clinómetros sean más fáciles de aprender a usar para los técnicos de campo, y que sean más duraderos que los instrumentos de medición electrónicos. Sin embargo, para medir la altura de los árboles es más rápido usar hipsómetros láser que cintas métricas y clinómetros. Tal vez se necesiten telémetros láser para estimar la altura de árboles altos en bosques densos.

Normalmente, el mayor reto al estimar los costos es el número de parcelas por día que un equipo de campo puede medir. A menudo, esto depende más de la cantidad de tiempo que se tarde en ir de una parcela hasta la siguiente que del tiempo empleado en cada parcela.

Muchos proyectos graban los datos de campo en fichas de datos de papel. Las fichas de datos de papel son tanto económicas como corrientes y fáciles de usar para los técnicos de campo, y no se estropean por una batería agotada o por problemas mecánicos. Puede ser difícil mantener cargadas las grabadoras

electrónicas de datos durante periodos de varios días en el campo; además, los datos se deberían extraer diariamente de las grabadoras de campo lo que puede ser complicado si los equipos se internan en el bosque durante una o dos semanas seguidas. Las grabadoras electrónicas de datos requieren además habilidades considerables para configurarlas. A largo plazo, sin embargo, las grabadoras de datos pueden disminuir costos considerables en términos de reducir la necesidad de imprimir fichas de datos y copiar los datos desde las fichas de papel al formulario electrónico. Los formularios electrónicos pueden diseñarse para que fuercen a los usuarios a llenar valores ausentes y pueden cuestionar o rechazar valores inverosímiles. Las especies de árboles se pueden especificar también usando un menú, lo que evita emplear un tiempo considerable en solucionar errores de escritura en los nombres de las especies. Si bien es fácil obtener programas informáticos comerciales de inventario forestal, puede que no sean flexibles para grabar los datos que un inventario necesita grabar.

Hay una variedad de libros de texto y manuales disponibles que describen cómo realizar el trabajo de campo. Se recomienda que los países revisen cuidadosamente varios manuales cuando elaboren su propio manual de campo, y que ensayen en el campo los procedimientos antes de adoptarlos. Los Estados Unidos, Canadá, Ecuador, México y Rusia, entre otros, tienen manuales de campo detallados que proporcionan ejemplos útiles a la hora de diseñar inventarios.

Localización de parcelas

Para asegurar la integridad del diseño de la muestra y evitar el sesgo, las parcelas deben localizarse antes de comenzar el trabajo de campo, a partir del análisis asistido por computadora de un SIG. Además, se deberían usar prácticas óptimas al recopilar los datos del Sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), teniendo en cuenta la exactitud publicada del tipo de receptor. Y dado que pueden producirse errores con las ubicaciones GPS, debe existir un método para volver a localizar parcelas que no dependa solo de las lecturas GPS a nivel de usuario. Muchos inventarios usan hitos para marcar el centro de las parcelas. El hito debe ser algo que sea improbable que se elimine con el tiempo. Por ejemplo, muchos inventarios introducen por completo en el suelo del centro de la parcela una sección de una barra de acero reforzada, y vuelven a localizar la barra reforzada con un detector de metales. Alinear hacia el centro de la parcela las etiquetas de los árboles o las marcas pintadas en ellos puede ayudar a volver a localizar el centro de las parcelas, siempre que las etiquetas no sean habitualmente eliminadas por personas o animales, y siempre que las marcas no provoquen que los árboles de las parcelas sean tratados de manera diferente a los árboles fuera de las parcelas. Anotar la distancia y la dirección desde el centro de la parcela hasta cada árbol es muy útil para localizar posteriormente el centro de las parcelas y para facilitar los aforos de comprobación.

4.5.2 Análisis de laboratorio de las muestras

Generalmente, no es necesario el análisis de laboratorio de las muestras de biomasa forestal; excepto cuando hay que identificar especies desconocidas de árboles y determinar las densidades de la madera. Smith *et al.* (2007) proporcionan un análisis sobre la determinación de la densidad de la madera.

El carbono de suelo sí requiere un análisis de laboratorio. Los componentes clave de la cuantificación del carbono del suelo son:

- Profundidad del suelo a medir (en centímetros, normalmente 30 centímetros);
- Densidad aparente del suelo (en g/cm³); y
- Concentración de carbono orgánico (porcentaje).

La profundidad del muestreo se especifica en el diseño del inventario. La densidad aparente se calcula para cada muestra a partir de la masa medida y del volumen medido de las muestras. La densidad aparente se puede medir en muestras de las que posteriormente se extrae una submuestra para la medición del carbono, o a partir de una muestra separada obtenida en la misma ubicación que el muestreo para el carbono. La concentración de carbono se determina por un análisis de laboratorio.

Las técnicas más habituales para analizar la proporción de carbono de suelo se basan en la medición de las emisiones procedentes de la combustión seca de las muestras. Este enfoque implica oxidar una muestra pequeña a temperaturas muy elevadas y usar la absorción infrarroja de los gases o la cromatografía de gases para medir la cantidad de CO₂ emitida.

4.6 CÁLCULO DE LAS RESERVAS DE CARBONO USANDO LOS DATOS DE CAMPO

4.6.1 Gestión de datos para los cálculos

El cálculo de las reservas de carbono usando los datos de campo debe realizarse de manera organizada o se producirán errores. Los procedimientos de cálculo deberían comprobarse en los datos piloto antes de encomendarse a un diseño de inventario en concreto, con el fin de garantizar que se recopilarán todos los datos necesarios. Los procedimientos deberían incluir la forma específica de la secuencia de cálculos, rastrear la versión, limitar quién puede introducir cambios en los datos y rastrear cualquier cambio en los datos. Los factores utilizados en los cálculos deberían estar bien documentados en cuanto a sus valores, fuentes y el por qué se usan esos valores concretos en una situación determinada.

Para el reporte de la CMNUCC, puede que sea necesario calcular por separado la reserva (o cambio en la reserva) de cada depósito de carbono reportado. Sin embargo, si no es obligatorio el reporte por separado de cada depósito, existe la opción de calcular la reserva de carbono de cada depósito de carbono por hectárea, y posteriormente sumar los depósitos para obtener la reserva de carbono por hectárea representada por cada parcela. Tener todas las parcelas en una base por hectárea permite el cálculo de la confianza estadística de las mediciones basadas en la variabilidad de todas las parcelas y el número de parcelas. Combinar todos los depósitos es estadísticamente adecuado y suele proporcionar una variabilidad parcela-a-parcela en cierto modo menor que el cálculo por separado de la reserva de cada depósito de carbono. Sin embargo, a menudo existe interés en conocer el cambio en las reservas de un depósito en particular —especialmente el depósito de árboles vivos— y con frecuencia es aconsejable calcular por separado las reservas de distintos depósitos o grupos de depósitos. En caso de que solo se midan algunos depósitos, y de que se usen factores por defecto de Nivel I en otros depósitos, los depósitos no medidos no deberían combinarse con los depósitos medidos antes de calcular la incertidumbre.

Si las reservas de carbono (o los cambios en las reservas) se calculan por separado en depósitos diferentes de un emplazamiento en concreto, se debería consultar con un estadista para que proporcione métodos apropiados para calcular la incertidumbre total para ese tipo de cobertura de la tierra. Por ejemplo, si se miden 100 parcelas y hay árboles vivos, árboles muertos, detritos leñosos gruesos, matorrales, depósitos herbáceos y de hojarasca, los distintos depósitos no cuentan como muestras diferentes al calcular la incertidumbre. El tamaño de la muestra es $n = 100$, no $n = 600$, que sería el caso si la observación de cada depósito contara como una muestra diferente. Los métodos para calcular la incertidumbre en situaciones sencillas se describen más adelante.

La reserva de carbono de un estrato concreto se obtiene calculando el promedio de la reserva de carbono por hectárea de todas las parcelas de un estrato y multiplicándolo por el área del estrato para obtener la reserva de carbono del estrato. La reserva de carbono total se calcula a continuación sumando las reservas de los distintos estratos. En el caso de que la reserva de carbono se calcule por separado para cada fecha del inventario, el cambio en la reserva se calcula con frecuencia como la diferencia de medias entre los dos periodos de tiempo. Si se usan parcelas temporales y no se miden las mismas parcelas en los dos periodos de tiempo distintos, se debe usar la diferencia de las medias. Por otra parte, si se miden parcelas permanentes, se puede calcular el cambio para cada parcela y, a partir de esto, se pueden calcular las estimaciones a nivel de población de la cantidad total de cambio. Para un determinado número de parcelas, este enfoque normalmente proporciona una mayor confianza estadística (siempre que las parcelas con una alteración significativa —como una tala o un incendio— no se mezclen con parcelas sin alterar) y la incertidumbre estadística se calcula a partir del conjunto de cambios observados en las distintas parcelas. El cálculo de las reservas de carbono usando los datos de campo exige una buena organización para asegurar que los datos se organizan eficientemente y que los cálculos resultantes se generan correctamente. Es importante grabar los detalles de los cambios realizados en los datos, lo que incluye: corrección de errores en los datos; borrado de datos incorregibles; factores y ecuaciones utilizadas, incluida la fuente de dichos factores y ecuaciones; la secuencia de cálculos; y la razón de cada cálculo. Sin registros sólidos, es imposible controlar la calidad y la exactitud de los cálculos y estimaciones resultantes de la reserva de carbono, y esta información es clave en la fase de verificación subsiguiente de los sistemas de MRV.

Antes de que se inicien los cálculos, todos los datos deberían compilarse en un único archivo para cada depósito de carbono. Se deberían examinar los datos en busca de valores ausentes o inverosímiles. Se deberían cotejar los problemas con las fichas de las parcelas o con formularios previos de los datos, y corregirlos cuando sea posible. Si la corrección no es posible, hay que suprimir los datos de la base de datos y registrar la razón por la que se suprimieron. Los datos no deberían eliminarse del análisis solo porque los valores sean atípicos.

4.6.2 Ecuaciones alométricas

Selección de ecuaciones alométricas

Las ecuaciones de carbono normalmente adoptan dos formas: ecuaciones alométricas o factores de conversión y expansión de biomasa (FCEB). Las ecuaciones alométricas son regresiones derivadas de mediciones detalladas del volumen de los árboles, o de pesar los árboles recolectados y relacionar una o más variables estructurales —normalmente el DAP y la altura del árbol— a una variable de interés, como el volumen arbóreo o la biomasa (Díaz y Delaney, 2011).

La selección del modelo alométrico es con frecuencia una de las mayores fuentes de error en los inventarios forestales. La base de datos de la muestra de la cual se deriva la ecuación alométrica, que normalmente puede identificarse usando los documentos fuente, debería ser representativa de la población de árboles a la que se aplicará la ecuación, y a ser posible, debería extraerse a partir de una escala geográfica comparable, o de lo contrario se perderá la variabilidad dependiente de la escala en las relaciones alométricas. Esto último es especialmente importante cuando, por ejemplo, se aplican ecuaciones pantropicales para derivar estimaciones para áreas geográficas más pequeñas.

También es probable que se produzcan errores significativos si las ecuaciones se aplican a árboles más grandes que los del rango a partir del cual se elaboró la ecuación, y no habrá manera de determinar el tamaño de los errores. Como resultado, las ecuaciones de biomasa no se deberían usar para árboles más grandes que el árbol más grande utilizado para generar la ecuación en cuestión, a menos que la estimación de la biomasa para estos árboles más grandes se compare con la biomasa medida de otros árboles grandes y las estimaciones se hayan documentado como razonables. En cambio, es posible usar las ecuaciones para una especie similar y ajustarlas para la diferencia en la densidad de la madera.

La mayoría de las ecuaciones alométricas dan resultados poco razonables cuando se aplican a árboles más grandes que los árboles a partir de los cuales se generó la ecuación. Por tanto, es preferible usar ecuaciones alométricas que se hayan generado a partir de árboles similares a aquellos que se están estudiando. En concreto, deberían ser similares la especie (o combinación de especies) o la forma de crecimiento y la biomasa futura. Esta falta de fiabilidad es particularmente grande con ecuaciones que son modelos exponenciales simples. Las ecuaciones logísticas, donde la tasa de crecimiento en la biomasa prevista disminuye a medida que aumenta el diámetro, suelen tener un error menor cuando se aplican a árboles más grandes que los árboles a partir de los cuales se generó la ecuación. A menos de que la ecuación alométrica fuera generada usando mediciones de los árboles de la zona donde se usará la ecuación, y a partir de masas forestales con trayectorias similares de desarrollo a las de las masas forestales a las que se aplicará la ecuación, las ecuaciones que usen el diámetro solo deberían considerarse útiles para estimaciones de biomasa brutas. Se proporcionan ecuaciones generales en el Anexo 4A.2 de las Directrices del IPCC (2006). Si una ecuación se va a aplicar a una amplia variedad de especies, o bien se deberían agrupar las especies para que cada grupo tenga una densidad de la madera similar, o bien se debería incluir la densidad de la madera en la estimación de la biomasa.

Las ecuaciones que usan la altura y el diámetro pero no la densidad de la madera se pueden adaptar para estimar la biomasa de especies diferentes a las especies a partir de las cuales se generó la ecuación, si todas las especies tienen una forma de crecimiento similar, y si las estimaciones se ajustan en función de las diferencias en las densidades de la madera. En este caso, el factor de ajuste de la densidad de la madera se calcula dividiendo la gravedad específica de las especies a las que se aplicará la ecuación entre la gravedad específica de las especies usadas para generar la ecuación.

Al considerar las ecuaciones específicas para cada taxón, o las ecuaciones que usan la altura, se debería considerar tanto la disponibilidad de analistas que puedan identificar las especies como el costo añadido y la incertidumbre de las mediciones de la altura de los árboles.

Los FCEB son factores adimensionales que convierten el volumen comercializable de los árboles en su biomasa por encima de la tierra total. Los FCEB se usan en estimaciones brutas de biomasa cuando hay disponible un inventario de madera pero no los recursos para medir las reservas de carbono en los bosques. Al usar los FCEB, es fundamental aplicar la misma definición del volumen comercializable (o reserva en crecimiento) que se usó en la derivación de los FCEB. Los FCEB tienen poca fiabilidad si se aplican a bosques de estructura diferente a la de los bosques donde se elaboraron los FCEB. Hay numerosas fuentes que pueden resultar útiles al buscar ecuaciones alométricas, como las instituciones locales de silvicultura, GlobAllomeTree¹⁹, y la bibliografía publicada.

Generación de nuevas ecuaciones y comprobación de las existentes

Si no se halla información sobre una especie determinada, o sobre un grupo de especies²⁰, es posible que los proyectos de los programas de REDD+ tengan que generar nuevas ecuaciones alométricas. Dentro del Proyecto de beneficios del carbono del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), Dietz y Kuyah (2011) prepararon unas directrices para establecer ecuaciones alométricas regionales por medio del muestreo destructivo.²¹ Otra guía para generar ecuaciones alométricas es la de Aldred y Alemdag (1988).

Se pueden generar ecuaciones alométricas nuevas con un muestreo relativamente pequeño de aproximadamente 30 árboles para una especie o grupo de especies en concreto, pero es aconsejable una muestra más grande. Tal vez sea necesario medir la densidad de la madera, y ya que las mediciones forestales se realizan sobre árboles verdes vivos, se deben usar los volúmenes de madera verde para calcular la densidad de la madera. El volumen de madera seca no se puede usar.

Controlar la idoneidad de las ecuaciones alométricas publicadas es la buena práctica cuando las ecuaciones se aplican a emplazamientos con productividades, condiciones climáticas o condiciones de crecimiento distintas a las del lugar donde se generaron las ecuaciones. Esto puede controlarse con un muestreo destructivo o midiendo el volumen de unos pocos árboles de distintos tamaños. Un muestreo destructivo limitado a este propósito podría llevarse a cabo en coordinación con una operación de recolección activa en el área de interés, reduciendo significativamente los costos y el esfuerzo exigido para esta ardua actividad. Se debería tener cuidado para lograr una muestra representativa de las especies arbóreas de todo el rango de clases de diámetro (> 15 cm de DAP, por debajo del cual hay inexactitudes rara vez importantes en las ecuaciones), comprometiéndose a una recolección complementaria (p.ej., de especies no comerciales), según sea necesario, para lograrlo. Un muestreo destructivo implica talar y pesar una muestra de árboles, y cortar una submuestra de partes del árbol, pesándolas en el campo y secándolas para elaborar el cociente entre el peso seco y el peso de campo para el peso de los árboles al completo. El volumen se mide dividiendo el tronco del árbol en segmentos y midiendo el diámetro de ambos extremos y la longitud de cada segmento, y también tomando mediciones de una muestra de las ramas. Los resultados se trazan en relación a las predicciones de la ecuación para evaluar el sesgo y, o bien validar la ecuación, o bien volver a fijar los parámetros de la ecuación para producir un ajuste mejor.

¹⁹ Una base de datos elaborada por la FAO, el Centro de Investigación Francés CIRAD y la Universidad de Tuscia; <http://www.globallometree.org>

²⁰ Las agrupaciones más útiles tal vez sean por grupo morfológico (p. ej., árboles de un solo tronco, árboles de varios troncos, matorrales) (MacDicken, 1997).

²¹ Se pueden encontrar más directrices sobre la elaboración de tablas de biomasa en MacDicken (1997) Anexo 4, Sección C.

Biomasa subterránea

La biomasa subterránea es extremadamente difícil de medir en un árbol individual, porque se entrelazan las raíces de otros árboles y matorrales. Como resultado, la biomasa subterránea a menudo se estima usando ecuaciones generales que la estiman como una función de la biomasa por encima de la tierra. Por lo general, la proporción entre la biomasa subterránea y la biomasa por encima de la tierra es más alta para los emplazamientos secos y con carencia de nutrientes, y para bosques sucesionales jóvenes, donde se asigna más energía al crecimiento de la raíz. Para proyectos más grandes en emplazamientos secos, es posible que el muestreo destructivo valga la pena para medir la biomasa de las raíces dentro del área del proyecto, porque estas mediciones aportarían una biomasa significativamente mayor que los cocientes por defecto para emplazamientos de cualquier productividad. La biomasa subterránea puede medirse cavando y pesando los cepellones, y extrayendo una muestra de las ubicaciones entre los troncos. Los métodos se describen en Bledsoe *et al.* (1999).

4.6.3 Depósitos sin árboles

La ampliación de las muestras a una masa por hectárea es directa. Las muestras se secan y pesan y se calcula el cociente entre el peso seco y el peso de campo. Las mediciones de campo se transforman en peso seco y se amplían en una base por hectárea.

Los métodos para procesar las muestras de hojarasca y para calcular su biomasa son similares a los usados para la vegetación herbácea. La proporción de carbono del peso de la biomasa seca puede estimarse o bien con un análisis de laboratorio, o bien examinando muestras para ver qué partes de la planta componen la hojarasca (p.ej., follaje frente a leña de ramas, leña de troncos o vegetación herbácea muerta), buscando en publicaciones la concentración de carbono de cada componente y calculando la media ponderada de una fracción de carbono.

El volumen de los detritos leñosos gruesos por hectárea se calcula para cada grupo de densidad por cada estrato:

$$\text{Volumen de los detritos leñosos gruesos (m}^3\text{/m}^2\text{)} = \pi^2 * [(d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2)/8 L]$$

donde d_1, d_2, d_n = diámetro (m) de cada uno de los n trozos que cruzan la línea, y L = la longitud de la línea (100 m; Harmon y Sexton, 1996). El volumen se convierte en masa usando el factor de densidad adecuado.

4.6.4 Combinación de reservas de carbono

La reserva de carbono por hectárea de cada depósito en cada parcela se suma con el resto de depósitos en esa parcela para obtener la reserva de carbono por hectárea por cada parcela. La reserva de carbono total se calcula multiplicando el valor medio por hectárea por el número de hectáreas.

En realidad, se hacen las mediciones durante un periodo de semanas a meses. Sin embargo, por el bien del reporte y del cambio a lo largo del tiempo, las mediciones se toman para representar una fecha determinada. Algunos inventarios tan solo especifican el año que representan las mediciones. No obstante, como algunas reservas de carbono varían entre estaciones, es mejor asignar una fecha a la que representen las mediciones. Por ejemplo, se podrían usar las mediciones tomadas durante una estación seca entre noviembre de 2011 y febrero de 2012 para representar la reserva de carbono presente el 1

de febrero de 2012. Si se realizan inventarios durante varios años, se debería usar o bien un diseño en panel para calcular el promedio y los cambios, o bien modelos para normalizar los datos de un solo año. Estos métodos están fuera del ámbito de este manual. Consulte un libro de texto adecuado para obtener directrices sobre cómo usar estos métodos.

4.6.5 Cuantificación de la incertidumbre

La fiabilidad de las estimaciones de la reserva de carbono se reporta en forma de intervalos estadísticos de confianza que cuantifican la probabilidad de que las parcelas de muestreo usadas para calcular las reservas de carbono podrían ser diferentes de las condiciones reales que existen a través del bosque entero.

El intervalo de confianza es un índice común de incertidumbre asociado con una estimación de un inventario. El intervalo de confianza representa un rango de valores alrededor de una estimación, normalmente la media. La anchura del intervalo de confianza transmite al usuario de los datos una sensación de confianza en la exactitud de la estimación. Los intervalos de confianza se pueden calcular para diferentes “niveles de confianza”, y se basan en teoría estadística. Los niveles de confianza usuales son el 90 % y el 95 %. Para interpretar, por ejemplo, un intervalo de confianza del 95 % de +/- 10 % alrededor de una estimación de 100 toneladas de carbono por hectárea, se puede decir que si un inventario parecido se realizó muchas veces exactamente de la misma manera pero eligiendo un grupo diferente de parcelas, el 95 % de los intervalos de confianza generados contendrían el valor real de la población. El valor real de la población es el valor que se hallaría si se midiesen todos los objetos de la población. En este ejemplo, el valor de la población sería la reserva de carbono medida si se midiesen todos los árboles. La gente a menudo interpreta que eso significa que se puede tener una confianza del 95 % en que el valor real está comprendido en el intervalo de confianza, en este ejemplo, entre 90 y 110 toneladas por hectárea.

Técnicamente, estas incertidumbres reportan la probabilidad de que la muestra sea diferente de la población total real. El nombre técnico de esta diferencia de probabilidad es error de muestreo. Existen otros muchos tipos de errores que pueden conducir a cifras falsas. Se pueden usar varios mecanismos para limitar los errores que no sean errores de muestreo. Estos incluyen los estándares de calidad y la comprobación independiente de las mediciones, los datos y los cálculos para detectar y corregir errores humanos. Todos estos posibles errores significan que dos mediciones independientes del mismo árbol, hechas por personas distintas, podrían diferenciarse por tan solo unos milímetros. Aun así, la mayoría asume que esos errores ajenos al muestreo son aleatorios y no sesgados y, por tanto, que aumentan el intervalo de confianza y no influyen en las estimaciones de las reservas.

Para calcular el intervalo de confianza, primero deben calcularse la desviación estándar y el error estándar de la estimación. La desviación estándar es una medición de cuán diferentes son las muestras individuales entre ellas. Por ejemplo, si la desviación estándar de un grupo de parcelas es de 50 toneladas de carbono por hectárea, entonces aproximadamente 2/3 de las parcelas tendrán reservas de carbono con un margen de 50 toneladas por hectárea sobre el promedio de la reserva de carbono. La desviación estándar es una propiedad de la población. El error estándar de la estimación es una medición de la incertidumbre de la estimación del valor de la media. El error estándar es una propiedad de la muestra y puede reducirse midiendo una muestra más grande, es decir, midiendo más parcelas. El error estándar de la media estimada para cada depósito de carbono dentro de cada estrato es:

$$SE = \sqrt{(S/n)}$$

donde SE es el error estándar de la media de la reserva de carbono por hectárea estimada para ese depósito de carbono y estrato en concreto; S es la desviación estándar de la media de la reserva de carbono por hectárea estimada para ese depósito de carbono y estrato en concreto; y n es el número de parcelas en el estrato. El intervalo de confianza para cada depósito de carbono dentro de cada estrato se calcula a continuación. El intervalo de confianza es:

$$CI = \pm t \times SE \quad CI = \pm t \times SE$$

donde CI es el intervalo de confianza; t es el valor $t_{\text{crítico}}$ de una tabla de valores de una prueba t de Student, para el nivel de confianza y grados de libertad adecuados. Esto es para una prueba de dos colas, es decir, una confianza del 95 por ciento dejaría 0,025 de la probabilidad en cada extremo de la distribución, y los grados de libertad son normalmente el número de parcelas menos uno. SE es el error estándar para el estrato y depósito en concreto.

El intervalo de confianza puede expresarse como un porcentaje de la media:

$$U_n = (CI/\bar{X}) \quad U_n = (CI/X)$$

donde: U_n es la incertidumbre en tanto por ciento para el depósito y estrato n; CI es el intervalo de confianza para dicho depósito y estrato, en toneladas por hectárea; y \bar{X} es el promedio de la reserva de carbono estimada de dicho depósito y estrato, en toneladas por hectárea.

Existen numerosos métodos aceptables para combinar incertidumbres entre múltiples depósitos o estratos. Los métodos se distinguen en función del grado de diferencia de tipo entre los depósitos o estratos, y el grado de congruencia de los métodos de muestreo usados en los distintos depósitos o estratos. Los depósitos deberían ser independientes y estar técnicamente separados en el espacio. Por ejemplo, la biomasa *in situ* y el carbono almacenado en productos de madera son depósitos separados. Los grupos separados de biomasa, como árboles vivos y árboles muertos, deberían combinarse para estimar la reserva de carbono de la biomasa.

Si el inventario está estratificado, la incertidumbre se reduce con relación al mismo número de parcelas en una muestra aleatoria simple. Para calcular la incertidumbre de un inventario estratificado, se calcula la incertidumbre de cada estrato y se ponderan y combinan las incertidumbres. Los detalles para calcular la incertidumbre de un inventario estratificado están fuera del ámbito de este manual. Para obtener directrices, consulte un libro de texto de medición forestal como el de Avery y Burkhart (1994) o un libro de texto de estadística. Nótese que las incertidumbres típicas en los inventarios forestales generalmente se ponderan con el número de unidades de muestreo observadas en cada estrato o con el área, más que con el número de toneladas en cada estrato. Además, en caso de hacer un muestreo apareado, consulte un libro de texto de estadística para obtener directrices.

Si se calcula el cambio en la reserva de carbono entre una muestra aleatoria simple y otra medida en una fecha posterior, el cambio se calcula como la diferencia de medias. Los métodos difieren para calcular la confianza de la diferencia de medias, dependiendo de si se usan parcelas temporales o permanentes, y están presentes en muchos libros de texto de estadística. Las parcelas permanentes logran mayor precisión en la estimación del cambio que las parcelas temporales; para las parcelas permanentes, el término covarianza se extrae en la estimación del error estándar.

4.6.6 Propagación de errores

Si se está calculando la incertidumbre para una estimación combinada de sumideros o emisiones de múltiples depósitos independientes, especialmente si se miden diferentes depósitos con diferentes niveles de metodologías de la CMNUCC (tales como factores de Nivel 1 para matorrales y suelo forestal, y mediciones de Nivel 3 de árboles vivos) la incertidumbre combinada del cambio estimado puede calcularse usando la Ecuación 5.2.2 de la *Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (OBP-UTCUTS)* del IPCC (2003):

$$U_E = \sqrt{\frac{(U_1 + E_1)^2 + (U_2 + E_2)^2 + \dots + (U_n + E_n)^2}{|E_1 + E_2 + \dots + E_n|}}$$

donde U_E es la incertidumbre combinada en tanto por ciento para la suma de cambios en todos los depósitos de 1 a n , en toneladas; U_n es la incertidumbre en tanto por ciento para el depósito n ; y E_n es la emisión o absorción para el estrato, para el depósito n , en toneladas.

4.7 CONTROL DE DATOS

4.7.1 Limpieza de datos, control y estándares de exactitud

La calidad de los datos es esencial. Si los datos de campo tienen errores importantes, todo el inventario podría carecer de valor. El diseño del inventario, la capacitación de los técnicos de campo y la dirección del personal de campo son la base de la calidad de los datos. A pesar de la fuerza de dicha base, los datos deben ser comprobados exhaustivamente antes de calcular las reservas de carbono. Esto incluye comprobar si hay datos ausentes y valores inverosímiles de los datos. Como se analiza anteriormente, si no se puede lograr una corrección fiable de un error de los datos, la parcela incorrecta debería excluirse de los cálculos de la reserva de carbono.

4.7.2 Archivado de datos y metadatos

Para volver a calcular los cambios en las reservas de carbono a lo largo del tiempo, los datos de un inventario deben almacenarse de manera que puedan recuperarse en una fecha posterior. Los métodos para las mediciones, la limpieza de datos y cualquier ajuste o cálculo deben especificarse claramente para fomentar la confianza de los usuarios posteriores y para asegurar que las mediciones y cálculos posteriores se puedan comparar con datos previos. Esto también es importante para satisfacer los principios del IPCC de TACCC.

Los metadatos describen cómo se recopilan los datos y qué representan. Los aspectos clave de los metadatos del inventario forestal son los protocolos usados para dirigir las mediciones de campo, así como las metodologías de muestreo subyacentes aplicadas (p.ej., el diseño de la muestra, la demarcación del área de población de la muestra). Archivar correcta y sistemáticamente los datos y metadatos asociados representa un paso importante, y necesario, en un inventario ya que mejora la eficiencia de inventarios futuros. Sin embargo, a menudo se invierte poco tiempo en estas actividades. A ser posible, se consultará a gestores de datos profesionales para diseñar los formularios de almacenamiento de datos y para usar los instrumentos de almacenamiento de datos. Como mínimo, es importante elaborar un plan sobre cómo se almacenarán y protegerán los datos y metadatos frente a cambios no autorizados o pérdidas. Los datos deberían archivarse en dos ubicaciones por lo menos, y la información sobre dónde

están almacenados los datos, qué está incluido y quién controla el acceso debería ser fácil de obtener. El hecho de tener a varios equipos involucrados en el análisis de datos mantiene el conocimiento de los datos y el uso adecuado de estos. Además, aumenta la probabilidad de transferencia de memoria institucional. El uso relativamente frecuente de los datos asegura que estos serán transferidos a nuevos formatos de medios de almacenamiento y recuperación y a nuevos sistemas de procesamiento, a medida que se adoptan nuevos instrumentos y programas informáticos. Esto es especialmente importante ya que los sistemas de MRV de los programas REDD+ conllevan periodos de muchos años.

4.7.3 Análisis de datos y reportes

Los reportes habituales de inventarios forestales de carbono incluyen:

- Cálculos de la biomasa y reservas de carbono, a menudo con reportes por depósito y estrato;
- Cálculos de los cambios en la reserva con el tiempo;
- Inventarios de madera, o al menos estimaciones del volumen de madera en árboles vivos; y
- Reporte de las incertidumbres en todos los depósitos y estratos.

Con el paso del tiempo, los inventarios forestales se convierten en irreemplazables ventanas al pasado. El uso inicial de un inventario podría ser tan solo medir el volumen de madera o la reserva de carbono, o empezar a estimar los cambios en las reservas de carbono. En función de los parámetros medidos, es posible que contribuyan también al estudio de otras dinámicas. No obstante, ya que las mediciones repetidas conforman un archivo, el valor de estos datos aumentará. Surgen nuevas necesidades y preguntas, y un conjunto de datos históricos bien documentados pueden proporcionar una ventana a las condiciones o cambios pasados, y son una manera de valorar los cambios a lo largo del tiempo sin tener que esperar años o décadas por un nuevo conjunto de mediciones. No se puede predecir qué asuntos importarán en el futuro, y la experiencia nos enseña que un inventario bien mantenido tendrá probablemente muchos usos valiosos.

4.8 CONSOLIDACIÓN DE BASES DE DATOS DEL INVENTARIO

Dadas las restricciones de los recursos, puede ser necesario en las etapas iniciales de la contabilidad de los programas nacionales de REDD+, antes de la implementación de un inventario nacional forestal, elaborar estimaciones a partir de bases de datos existentes (p.ej., a partir de inventarios forestales comerciales, proyectos de los programas REDD+, investigación medioambiental).

A pesar de que no es necesario recopilar diferentes bases de datos usando los mismos enfoques de muestreo, existen varias consideraciones esenciales para asegurar que los datos estén consolidados con el fin de evitar o minimizar el sesgo en la derivación de una estimación de la reserva total. La principal de estas consideraciones es que la población representada por un inventario determinado esté claramente demarcada, es decir, que el área en la que se extrajeron las muestras (con una probabilidad conocida) sea mapeada y documentada. Esto es tan importante como los datos de la parcela en sí, de lo contrario no queda claro qué población (área forestal) representan en esos datos.

Una segunda consideración crucial es que los datos candidatos deben ser examinados para asegurar un nivel aceptable mínimo de consistencia y calidad de los datos. Algunas valoraciones importantes:

- Se deberían proporcionar de manera preferente los datos brutos (mediciones de las parcelas con datos de árboles individuales) para asegurar la consistencia en los procedimientos de estimación (p.ej., las ecuaciones alométricas usadas) en todos los inventarios, y para permitir la alineación de inventarios con los límites de diámetro mínimo comunes.
- Todos los datos deben haberse recopilado con unos procedimientos mínimos de aseguramiento de calidad y control de calidad (QA/QC), para asegurar que el error de medición y el sesgo de la muestra sean mínimos (consulte el análisis del QA/QC en este mismo capítulo).
- Todos los datos deben abarcar los mismos depósitos y usar las mismas definiciones de depósito, incluso los límites de diámetro para las mediciones de árboles (en algunos casos tal vez sea posible reconstruir la distribución de los diámetros²², pero los inventarios estrictamente comerciales no pueden reinterpretarse como la biomasa total de todas las especies).
- Todos los datos deben recopilarse usando un rango de tiempo máximo (p.ej., una estimación de 2014 podría derivarse de datos recopilados hasta 5 o 10 años antes de la fecha del reporte). Cuando haya áreas importantes de bosque en una etapa inicial de la sucesión, se recomienda usar un periodo de tiempo permitido más corto.
- Un tamaño de la muestra mínimo de 10 para asegurar estimaciones invariables y sin sesgo de la media y de la varianza (Westfall *et al.*, 2011).

Para derivar una estimación total, las estimaciones individuales del inventario se ponderan con sus respectivas (muestreadas) áreas de población. El resultado es una media ponderada en función del área, con cada área muestreada tratada como un estrato individual (Cuadro 4.3). De esta forma, toda la población de interés (p.ej., una zona arbolada nacional) se construye como una especie de rompecabezas, con piezas representadas por áreas muestreadas, cada una con su propia estimación. Inevitablemente seguirá habiendo vacíos que no han sido muestreados, que pueden ser:

- Trazados y excluidos de los sistemas de MRV, por ejemplo, en el caso de zonas remotas e inaccesibles donde es improbable que sucedan cambios antropogénicos, centrando de ese modo los sistemas de MRV en tierras explotadas;
- Ignorados (p.ej., si son un área insignificante), aceptando cierto nivel de sesgo desconocido;
- Trazados y muestreados con un nuevo esfuerzo destinado al campo para rellenar vacíos; o
- Se les asignan estimaciones basadas en predicciones derivadas de relaciones entre estimaciones conocidas y datos complementarios (p.ej., datos geofísicos espacialmente explícitos, imágenes satelitales), por ejemplo, usando los enfoques de la regresión o del vecino más cercano (ver, por ejemplo, McRoberts *et al.*, 2007).

²² Por ejemplo, haciendo la estimación a partir de las tablas de masas forestales de Gillespie *et al.* (1992).

Inventario	Área de la población de muestra (ha)	Estimación (biomasa viva por encima de la tierra media en toneladas de CO ₂ /ha)	Error estándar (biomasa viva por encima del suelo media en toneladas de CO ₂ /ha)
A	10 000	150	10
B	5000	125	50
C	1000	200	20
X (no muestreado)	10 000	130 (predicción)	60 (error de predicción del modelo)
TOTAL	26 000	139	81

Cuadro 4.3: Ejemplo de una media ponderada en función del área con cada área muestreada tratada como un estrato individual

La incertidumbre en la estimación total se deriva de la propagación de errores a nivel de inventario, de manera similar a una muestra estratificada. Cuando a un área no muestreada se le asigna una estimación basada en una predicción, se debería incluir el error de la predicción (p. ej., el error de la media cuadrática de lo predicho/observado, como referencia con la que contrastar una base de datos de validación), así como cualquier error en torno a la estimación de la(s) variable(s) independiente(s) (Cuadro 4.2).

De manera importante, este enfoque para crear un inventario nacional a partir de bases de datos a menor escala (p.ej., inventarios de proyectos de los programas REDD) también facilita la participación de múltiples actores. Al utilizar la información de bases de datos a múltiples escalas, se reconoce el valor de los datos recopilados a través de los sistemas de MRV a nivel de proyecto, y así los proyectos se convertirían en contribuidores y participantes de los sistemas de MRV nacionales y jurisdiccionales.

4.9 MÉTODO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS

La estimación de cambios relativamente “escasos” y pequeños en la biomasa distribuida sobre un gran paisaje, como los producidos a partir de actividades para extraer la madera procedente de la tala selectiva, supone un reto, sobre todo donde el objetivo es resolver esos cambios incluso con niveles modestos de significación estadística. Los enfoques de muestreo basados en la probabilidad, incluso con parcelas permanentes (las cuales permiten mayor resolución de cambio y son especialmente útiles para el monitoreo del crecimiento forestal), normalmente exigirían intensidades de muestreo imposiblemente altas usando el método del cambio en la reserva.

Un enfoque más eficiente para estimar pequeños cambios en comparación con el tamaño de la reserva consiste en centrarse directamente en la medición de los flujos hacia la reserva y desde ella (es decir, el método de ganancias y pérdidas). Como se analiza en el Capítulo 3, además del método del cambio en la reserva, el IPCC reconoce el de ganancias y pérdidas como un método alternativo para estimar los cambios en el carbono (IPCC, 2006).

Los flujos normales (es decir, los sumideros y fuentes) rastreados por un enfoque del tipo ganancias y pérdidas incluirían:

- Secuestro del crecimiento forestal;
- Emisiones procedentes de la mortalidad natural (las relacionadas con la competición y las de senescencia) y de las alteraciones (la mortalidad debida al viento, fuego, enfermedades); y
- Emisiones procedentes de absorciones de madera debidas a la tala y a la recolección de leña.

La última fuente de emisiones, la procedente de las absorciones antropogénicas de madera, exige tener como objetivo un muestreo basado en el campo de las áreas sujetas a actividades de extracción, o si no, información fiable sobre absorciones de madera a partir de la cual se puedan estimar las emisiones relacionadas con la recolecta. Algunos avances recientes han aplicado este enfoque para la estimación de impactos de la tala de Griscom *et al.* (2014) y Pearson *et al.* (2014). Todavía hay muchos retos, sobre todo con relación a la subsistencia y a la tala ilegal, que como es comprensible son difíciles de ubicar y de acceder (para un muestreo de campo específico) o para las que no hay disponibles estimaciones fiables y completas de las absorciones de madera. Los enfoques basados en sensores remotos no han logrado aún suficiente resolución de cambio en la reserva como para ser viables para la estimación directa de emisiones procedentes de la degradación, aunque han identificado satisfactoriamente áreas sujetas a degradación (Souza *et al.*, 2005) y podrían usarse, conjuntamente con enfoques basados en el campo, para fijar como objetivo las estimaciones del muestreo y de las emisiones a escala. En el Capítulo 5 se analizan las tecnologías emergentes en cuanto a sensores remotos.

4.10 REFERENCIAS

Forest inventory, sampling design and statistics

Avery, T.E., and H. E. Burkhardt. 2002. *Forest Measurements*. Fifth edition. New York, NY. McGraw-Hill, Inc.

Aldred, A.H. and I.S. Alemdag. 1988. *Guidelines for Forest Biomass Inventory*. Information Report PI-X-77. Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute. 134 pp

Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.

Diaz, D. and M. Delaney. 2011. Carbon Stock Assessment Guidance: Inventory and Monitoring Procedures. In: *Building Forest Carbon Projects*, Johannes, E. and J. Olander, eds. Washington, DC, USA. Forest Trends.

Dietz, J., and S. Kuyah. 2011. Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. Global Environment Facility, Carbon Benefits Project: Modelling, Measurement and Monitoring. Nairobi, Kenya. World Agroforestry Center (ICRAF). Available at: <http://www.goes.msu.edu/cbp/allometry.pdf>.

Ducey, M.J., J.H. Gove, and H.T. Valentine. 2004. A Walkthrough Solution to the Boundary Overlap Problem. *Forest Science* 50: 427-435

Grosenbaugh, L. and W. Stover. 1957. Point-sampling compared with plot-sampling in southeast Texas. *Forest Science* 3: 2-14.

Husch, B., T. Beers and J. Kershaw. 2002. *Forest mensuration*. 4th edition. John Wiley & Sons, Inc. 456 pp.

Iles, K. 2003. *A Sampler of Inventory Topics*. Kim Iles and Associates, Ltd.

Kohl, M. 1993. *Forest Inventory*. Chapter 5 in Pancel, L., ed. *Tropical forestry handbook*. Berlin, Germany, Springer-Verlag. pp. 243-332.

McRoberts R.E., E.O. Tomppo, A.O. Finley and J. Heikkinen. 2007. Estimating areal means and variances of forest attributes using the k-nearest neighbors technique and satellite imagery. *Remote Sensing Environment* 111(4): 466–480

Schreuder, H.T.; R. Ernst and H. Ramirez-Maldonado. 2004. *Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-126. Fort Collins, CO, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 111 p.

Schreuder, H., T. Gregoire and G. Wood. 1993. *Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory*. John Wiley & Sons, Inc. 464 pp.

Schreuder, H., S. Banyard and G. Brink. 1987. Comparison of three sampling methods in estimating stand parameters for a tropical forest. *Forest Ecology and Management* 21:119-127.

Shiver, B. and B. Borders. 1996. *Sampling Techniques for Forest Resource Inventory*. John Wiley & Sons, Inc. 356 pp.

Smith, G., R. Bruce, A. McCarl, L. Changsheng, J. H. Reynolds, R. Hammerschlag, R. L. Sass, W. J. Parton, S. M. Ogle, K. Paustian, J. Holtkamp, and W. Barbour. 2007. *Harnessing farms and forests in the low-carbon economy: how to create, measure, and verify greenhouse gas offsets*. Edited by Zach Willey and Bill Chameides. Raleigh, NC, USA. Duke University Press, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 229p.

Souza, Carlos M. Jr., D.A. Roberts and M.A. Cochrane. 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing Environment* 98: 329-343

Westfall, J.A., P.L. Patterson and J.W. Coulston. 2011. Post-stratified estimation: within-strata and total sample size recommendations. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 1130-1139.

FAO. 2004. *National Forest Inventory Field Manual Template*. Forest Resources Assessment Programme Working Paper 94/E, Rome.

Sampling and measurement of downed dead wood

Brown, J. K. 1974. *Handbook for Inventorying Downed Woody Material*. General technical report INT-16. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Harmon, M.E. and J. Sexton. 1996. *Guidelines for measurements of wood detritus in forest ecosystems*. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office, University of Washington, Seattle, WA, USA.

Van Wagner, C.E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* 14: 20-26.

Warren, W.G. and P.F. Olsen. 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science* 10: 267-276.

Synthesis documents on forest carbon inventory and REDD+ field-based sampling MRV

Gillespie A.J.R., S. Brown and A.E. Lugo. 1992. Tropical forest biomass estimation from truncated stand tables. *Forest Ecology and Management* 48:69-88.

GFOI. 2013. *Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative*. Pub: Group on Earth Observations. Geneva, Switzerland.

GOFC-GOLD. 2013. *A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation*. GOFC-GOLD Report version COP19-2, (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands).

IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Hayama, Japan. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan. Intergovernmental Panel on Climate Change.

MacDicken, K. G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock.

Pearson, T., S. Walker and S. Brown. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Winrock International and the World Bank Biocarbon Fund. 57pp. Available at: http://www.winrock.org/ecosystems/files/winrock-biocarbon_fund_sourcebook-compressed.pdf.

Pearson, T., S. Brown and R. Birdsey. 2005. Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. United States Department of Agriculture. General Technical Report NRS-18. 47 pp. Available at: www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs18.pdf.

Smith, G., R. Bruce, A. McCarl, L. Changsheng, J. H. Reynolds, R. Hammerschlag, R. L. Sass, W. J. Parton, S. M. Ogle, K. Paustian, J. Holtkamp, and W. Barbour. 2007. Harnessing farms and forests in the low-carbon economy: how to create, measure, and verify greenhouse gas offsets. Edited by Zach Willey and Bill Chameides. Raleigh, NC. Duke University Press, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 229 p.

Gain-Loss approaches to estimation of logging impacts

Griscom, B., P. Ellis and F.E. Putz. 2014. Carbon emissions performance of commercial logging in East Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biology*. 20: 923–937.

Pearson, T.R.H., S. Brown and F.M. Casarim. 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters* 9: 034017-034028.

4.11 RECURSOS SELECTOS

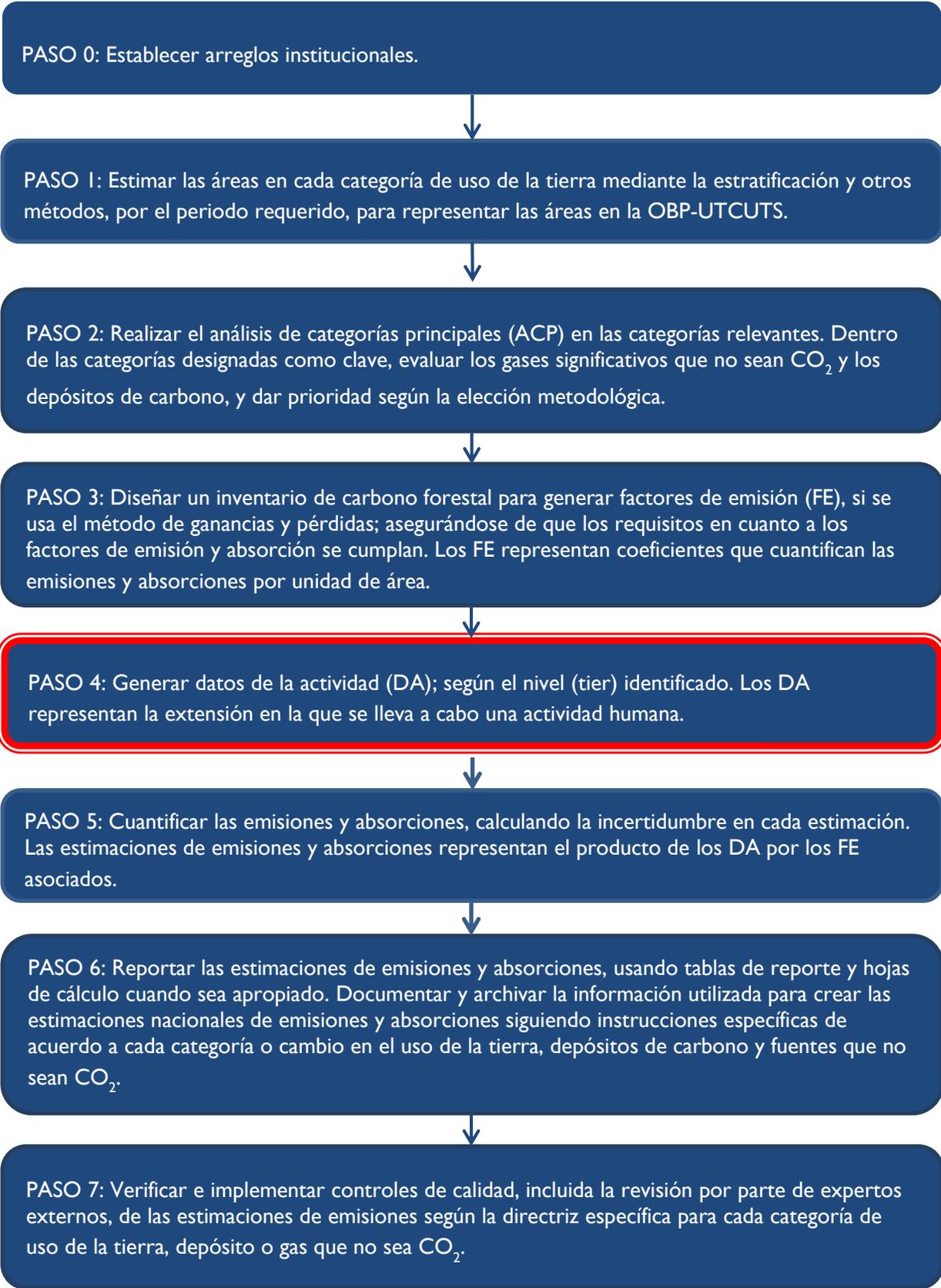
Carbon Measurement and Monitoring (CMM) Module of the USAID-supported Lowering Emissions in Asia's Forests (LEAF) program. Available at: <http://www.leafasia.org/>

5.0 SENSORES REMOTOS PARA EL ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE COBERTURA DE LA TIERRA

Autores: Marc Steininger y Jennifer Hewson

5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo se centra en la aplicación de los enfoques de sensores remotos para monitorear la cobertura de bosque y sus cambios. En la Sección 3.3 de este manual, *Pasos para el inventario y reporte*, se esboza la secuencia de pasos necesarios para crear un inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI). Este capítulo es importante para las actividades resaltadas en la página siguiente.



En el contexto de las actividades resaltadas arriba, este capítulo trata sobre:

- El trasfondo de los usos de la tierra en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC);
- Una breve revisión de las actividades de sensores remotos para el monitoreo forestal;
- Los pasos y las necesidades generales a tomar en cuenta en la elaboración de un sistema de monitoreo forestal satelital; y
- Una visión general de las áreas emergentes de investigación con sensores remotos para el monitoreo forestal.

Los sensores remotos, sobre todo los enfoques satelitales, constituyen la opción más práctica para monitorear el cambio en la cobertura de la tierra de grandes áreas. Este capítulo enfatiza el uso de sensores remotos satelitales ópticos orientados a estimar la deforestación. Los sensores remotos satelitales ópticos son el tipo de sensores remotos más usados para esta aplicación; y la deforestación representa la mayor fuente de emisiones de GEI derivados del sector del uso de la tierra en la mayoría de países con bosques tropicales. Otro uso importante de los sensores remotos en un Sistema nacional de monitoreo forestal (SNMF) es producir un mapa de referencia forestal. Esto es necesario para definir el área forestal nacional al inicio del periodo de reporte y qué reservas de carbono y cambios forestales se monitorearán. Por último, los datos procedentes de los sensores remotos representan información clave para los tipos de estratificación forestal y pueden usarse para caracterizar la cobertura foliar estacional, la inundación y las variaciones espectrales debidas a las distintas estructuras del dosel forestal. La estratificación debería tener como objetivo la identificación de tipos de bosques con posibles niveles significativos de biomasa distintos para asistir a las estrategias de muestreo de campo (ver el Capítulo 4). La estratificación forestal adicional podría ser de interés para el manejo y planificación nacional y dichas actividades de estratificación pueden facilitarse mediante el uso de datos obtenidos por sensores remotos.

La Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (OBP-UTCUTS) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) es un recurso clave para los países. Sin embargo, la información que brinda sobre los enfoques específicos en cuanto al uso de sensores remotos para analizar el uso de la tierra es limitada. La información en este capítulo resume los temas pertinentes a los sensores remotos de un SNMF. Como se mencionó en el Capítulo 1, otros recursos de valor son el libro de consulta de la Observación Mundial de la Dinámica de los Bosques y la Cobertura De la Tierra (GOF-C-GOLD, 2013), el Documento sobre Métodos y Orientación (MGD) de la Iniciativa Global de Observación Forestal (GFOI) (GFOI, 2013) y el Libro de Recetas del Instituto de Investigación Forestal y Productos Forestales de REDD+ (Hirata *et al.*, 2012). En la Sección 5.8, aparecen enlaces a recursos adicionales para aprender más sobre sensores remotos.

5.2 USOS DE LA TIERRA Y LAS CATEGORÍAS SEGÚN LA CMNUCC

El UTCUTS, en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), hace referencia al cambio en el uso de la tierra o la persistencia entre los seis usos generales definidos por el IPCC: tierras forestales, tierras agrícolas, praderas, humedales, asentamientos y otras tierras (IPCC, 2006, Vol. 4; ver el Capítulo 2). Los posibles tipos de cambio en el uso de la tierra, o persistencia, entre estos seis usos generales se denominan *Categorías*. Las subcategorías pueden definirse dentro de una categoría para definir con más precisión los cambios y las fuentes de emisiones.

En cuanto al uso de la tierra, el IPCC reconoce dos métodos para estimar las emisiones de carbono: el

método del cambio en las reservas²³ y de ganancia y pérdida (IPCC, 2003), como se explicó en el Capítulo 3. Este capítulo trata sobre el uso de sensores remotos para detectar el cambio en el uso de la tierra en el contexto del método de ganancia y pérdida, en el que las estimaciones de cambios entre los usos es una información específica para las estimaciones de emisiones. Sin embargo, las técnicas de los sensores remotos y los temas tratados en este capítulo también son importantes para la aplicación del método de cambio en las reservas, sobre todo en la estratificación de los bosques para el muestreo de campo.

Los datos de actividad (DA), o la extensión en la que sucede la actividad del hombre, son datos sobre el área de una categoría que posiblemente da como resultado emisiones o absorciones de GEI en un periodo determinado. Como se ilustra en el Capítulo 3 (Figura 3.2), los DA se combinan con los factores de emisión (FE). Los FE son coeficientes que cuantifican las emisiones/absorciones por unidad de área, y proporcionan así los datos de las diferencias en las reservas de carbono antes y después de que cambie la cobertura. Al multiplicar los DA, extensión en la que sucede la actividad del hombre, por los FE, coeficientes que cuantifican las emisiones/absorciones por unidad de área, se obtienen las emisiones de GEI estimadas asociadas a cada categoría.

El IPCC (2006) describe tres enfoques generales, que no deben confundirse con los niveles (tiers), para representar el uso de la tierra (ver el Capítulo 3). Estos enfoques, enumerados en el Recuadro 5.1, se utilizan para estimar los DA para cada categoría:

Recuadro 5.1: Enfoques

Enfoque 1: Área neta de cada uso de la tierra reportado en distintos periodos de tiempo, pero aún no se rastrean las conversiones específicas entre ellas.

Enfoque 2: Rastreo de las conversiones del uso de la tierra, pero sin mapas.

Enfoque 3: Rastreo de la conversión del uso de la tierra con mapas.

El enfoque 3 es el más informativo y aplicable a un mecanismo para reducir las emisiones de la deforestación y la degradación forestal, más la función de la conversión, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal en países en desarrollo (REDD+). Sin embargo, se pueden usar los tres enfoques entre las regiones o categorías de un país. En el Anexo 2A.1 de la OBP-UTCUTS, aparecen los estudios de caso de los países que han utilizado distintos enfoques. Por ejemplo, los datos disponibles para la Pampa argentina fueron suficientes tanto para el enfoque 1 como para el 2. Se contó con datos del censo agrícola, que documentaban el área de cada uso de tierra con el tiempo y con plena cobertura, para toda la región, lo que facilitó el enfoque 1. Existían datos sobre el cambio en la cobertura de la tierra, que documentaban las transformaciones de praderas naturales a pasturas y tierras agrícolas, lo que permitió así el enfoque 2. En Australia, la creación de un mapa multitemporal de cambio en la cobertura forestal, así como algunas subcategorías, habilitaron el enfoque 3 para esas categorías.

Es importante considerar las características de los parámetros del uso de la tierra que se monitorearán y el costo de las implicaciones de un mapeo de plena cobertura en comparación con un método basado en el muestreo. Si bien el uso de los sensores remotos satelitales es una herramienta de utilidad para el

²³ La OBP-UTCUTS (IPCC, 2003) usa el término cambio en las reservas, mientras que la orientación de 2006 usa el término diferencias en las reservas (IPCC, 2006). Las Partes no incluidas en el Anexo 1 no han tomado una decisión con respecto al uso de la Orientación de 2006, y, por lo tanto, a lo largo de este manual usamos el primer término, a pesar de que la Orientación de 2006 está más actualizada y usa el segundo.

monitoreo de varios parámetros del uso de la tierra, algunos tipos de categorías del uso de la tierra (p.ej., la degradación forestal) o las regiones (p.ej., zonas montañosas) pueden monitorearse mejor mediante enfoques de recolección de datos de campo o aéreos. Los costos asociados a estos enfoques podrían ser significativos y por lo tanto, podría necesitarse un enfoque basado en el muestreo.

5.2.1 Definición de bosque nacional y otras clases

La Orientación para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC 2006 consolida tanto el UTCUTS como la Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) en el Volumen 4 (IPCC 2006; ver el Capítulo 3). En este capítulo, las definiciones se han adaptado de la Orientación del IPCC de 2006 y la OBP-UTCUTS de 2003, a menos que se indique lo contrario. Si bien los países deben reportar sobre el uso de la tierra, el monitoreo satelital es más apropiado para detectar la cobertura de la tierra, ya que se basa en las relaciones entre el espectro observado en las imágenes y las características estructurales del suelo y la vegetación que cubre la tierra. No obstante, el uso de la tierra puede inferirse regularmente tomando en cuenta el contexto local y el conocimiento general del área.

Definición de bosque

Un paso fundamental en el desarrollo de un sistema de MRV es la definición nacional de bosque. Los países tienen flexibilidad a la hora de elaborar sus definiciones, sin embargo, están restringidos por ciertos criterios. La definición debe elaborarse tomando en cuenta tanto la estructura física presente y la posible vegetación, y cómo se usa la tierra. Los criterios físicos del bosque, y el rango que los países pueden seleccionar para sus definiciones, están incluidos a continuación en el Recuadro 5.2.

Recuadro 5.2: Definición de los criterios de bosque

Potencial para alcanzar una altura mínima del dosel forestal a una madurez de 2 a 5 metros;

Cobertura mínima de la copa de los árboles del 10 al 30 %; y

Tamaño mínimo del área de 0,05 hectáreas a 1 hectárea.

La cobertura de la copa de los árboles no es lo mismo que la cobertura foliar, ya que la cobertura de la copa de los árboles se define según la periferia de la corona, mientras que la cobertura foliar es la proporción de hojas en comparación con los huecos en el dosel forestal. Un emplazamiento se define como bosque si cumple con los criterios anteriores y si se supone que su uso principal está relacionado con el bosque. Por ejemplo, a pesar de que un parque urbano o una tierra agrícola de barbecho pueden cumplir con los criterios físicos de bosque, estas áreas tienen usos urbanos y agrícolas (es decir, no tienen usos forestales), por lo tanto, pertenecen a una categoría no forestal. La tierra agrícola de barbecho es un ejemplo particularmente importante para muchos países tropicales, ya que la mayoría de su tierra agrícola está en alguna etapa de barbecho. Aunque en términos de estructura, son bosques jóvenes en crecimiento, son parte de un ciclo agrícola con un periodo temporal definido y se espera que se vuelvan a despejar después de cada periodo. Por lo tanto, son parte de un uso no forestal. Considerar que la tierra agrícola de barbecho no es bosque facilita considerablemente el reporte sobre la deforestación y las emisiones de GEI asociadas, ya que un país no tendría que estimar las tasas de surgimiento de nuevas tierras de barbecho ni de su despeje cuando reporte cambios en el área forestal²⁴.

²⁴ En el siguiente enlace encontrará ejemplos de definiciones nacionales de bosque: <http://cdm.unfccc.int/DNA/cdf/index.html>

De conformidad con el informe del IPCC *Definiciones y opciones metodológicas para los inventarios de emisiones derivadas de la degradación forestal y la eliminación de otros tipos de vegetación inducidas directamente por el hombre*, la degradación forestal podría definirse como “pérdida a largo plazo inducida directamente por el hombre (que persiste por X años o más) de al menos un Y por ciento de las reservas de carbono forestal [y valores forestales] desde el periodo T y que no cuenta como deforestación ni actividad elegida bajo el Artículo 3.4 del Protocolo de Kioto” (IPCC, 2003). Por ejemplo, la tala selectiva puede suceder en una zona definida como bosque. Si la cubierta de los árboles no se reduce lo suficiente para quedar por debajo del límite de la definición de bosque, entonces, la zona sigue siendo un bosque, pero ha sufrido degradación. Por el contrario, otra zona que haya sido talada y sí cruzó el límite podría ser clasificada como deforestación. Sin embargo, además del cambio en la estructura física, el uso de la tierra también debe cambiar. Si el lugar está todavía bajo uso forestal (es decir, concesión forestal sujeta a algún ciclo de tala selectiva), se seguiría definiendo como bosque a pesar de su cambio estructural. En este caso, hay pérdidas en las reservas de carbono en la clase de “bosque que sigue siendo bosque”. Posiblemente se necesite una subclase para definir el “bosque intacto a degradado”, y se podría hacer una muestra de esta subclase para estimar el cambio en las reservas de carbono. La GFOI MGD trata más en profundidad sobre la degradación forestal en el Capítulo 2.2.2.

Punto de referencia forestal, estratificación y estimación de cambio

El desarrollo del mapeo forestal para las actividades de REDD+ puede considerarse como un trío de componentes: la creación de un mapa de referencia forestal, la estratificación de los bosques en la extensión del mapa y la estimación de cambios en la extensión del mapa. Asimismo, es preferible llevar a cabo estas tres actividades de una en una; intentar hacerlas todas en un proceso único puede hacer que los procesos se vuelvan lentos y extremadamente complicados.

El mapa de referencia forestal debe crearse primero, ya que define la extensión geográfica para realizar las otras dos actividades. El desarrollo del mapa de referencia forestal debería reflejar la definición nacional de bosque y usar tanta información de campo, fotos aéreas, imágenes de muy alta resolución y el conocimiento de expertos como sea posible para facilitar la interpretación de las imágenes obtenidas por sensores remotos. Por ejemplo, si se excluyen las tierras agrícolas de barbecho de la definición nacional, las fotos aéreas o las imágenes de muy alta resolución podrían obtenerse de áreas de muestra para permitir que los analistas se instruyan en la interpretación de lo que es barbecho en comparación con un bosque maduro en distintas partes del país. Este paso es fundamental para que los analistas preparen y evalúen correctamente las clasificaciones de bosque para el periodo de referencia. Otras características a las que los analistas deberían prestar especial atención incluyen las gradaciones a vegetaciones de menor tamaño que se ubican por debajo del límite en la definición nacional de bosque, como los matorrales montañosos, o vegetación del dosel forestal abierto, como una tierra arbolada abierta.

El mapa de referencia debería tener como base los datos satelitales de las fechas más cercanas a la fecha de inicio del periodo de monitoreo. Esta podría ser la fecha de inicio de las actividades de REDD+ y, por lo tanto, define la medida en la que los créditos de REDD+ podrían ser posibles y dónde el monitoreo es un requisito. Asimismo, podría ser la fecha de inicio de un análisis histórico para el uso en la estimación del nivel de referencia de las emisiones forestales o el nivel de referencia forestal (NRE/NR; ver el Capítulo 2). En el último caso, con el tiempo tendrá que ser actualizado para definir la extensión de bosque al principio de la implementación de las actividades de REDD+. Puede ser difícil adquirir las imágenes satelitales para una fecha exacta, debido a la nubosidad o a interrupciones en la recolección de datos. Por lo tanto, las fechas de las imágenes utilizadas para el mapa de referencia pueden variar. Un enfoque conservador evitará usar imágenes con fecha anterior a la fecha de inicio, ya que esto puede hacer que se incluyan bosques que se despejaron justo antes de la fecha de inicio.

Un mapa de referencia debería tener el menor número posible de falta de datos; la falta de datos puede producirse como resultado de problemas con los sensores satelitales, la nubosidad, etc. Esto puede provocar que se tengan que obtener varias imágenes de la misma área y, por lo tanto, que los analistas tengan que identificar una metodología apropiada para analizar varias imágenes. Consulte, por ejemplo, la Sección 5.4.2 del manual o la Sección 3.5.2 de la GFOI MGD (GFOI, 2013); el Paso 5.2 del Libro de consulta de la GOF-GOLD (GOF-GOLD, 2013). La creación de un mapa forestal de referencia requerirá de un proceso cuidadoso y repetitivo. Generalmente, habrá que hacer repetidos análisis de una imagen seguidos de revisiones realizadas por expertos y otros actores, como gobiernos subnacionales y los encargados de implementar del proyecto de REDD+. Es importante que se dé a conocer el mapa de referencia final a los actores que tengan inquietudes que abordar, ya que esto establece un precedente importante para identificar dónde se pueden implementar las actividades de REDD+ y dónde no. Una vez que el mapa de referencia forestal está terminado, cualquier área definida como bosque no explotado (ver el Capítulo 3) puede omitirse para brindar una definición final de dónde puede implementarse REDD+ y de dónde se debe realizar el monitoreo.

La estratificación de los bosques en el área de referencia debería realizarse en coordinación con el equipo de inventario de campo (ver el Capítulo 4) y con la orientación de un estadista experto. La estratificación no es necesaria, aunque se recomienda como método para reducir tanto los costos de la encuesta de campo como las incertidumbres en las reservas de carbono, como se explicó en el Capítulo 4. Incluso la creación de unas pocas clases generales es muy útil para estos fines. La estratificación con base en las imágenes satelitales puede beneficiarse de la inclusión de información estacional, por ejemplo, los sitios donde los bosques caducifolios pueden tener niveles significativamente más bajos de biomasa. La información estacional podría obtenerse de datos de resolución más gruesa, como los grupos de imágenes mensuales obtenidas mediante el espectrodímetro de imágenes de media resolución (MODIS, por sus siglas en inglés) o de imágenes de muy alta resolución, si se obtienen para meses específicos en los que hay más o menos follaje. Otras características que generalmente se aprecian en los datos satelitales son las grandes diferencias en las estructuras del dosel forestal, como las de los bosques inundados, bosques de lianas y bosques de palmeras. La estratificación también puede utilizar datos auxiliares SIG, como los datos sobre el clima, el suelo y la elevación. Los estratos posiblemente diferentes pueden evaluarse mediante la unión de los datos existentes sobre las reservas de carbono y los estratos con menor diferencia en las reservas, esta combinación da como resultado un total menor de estratos. Si tales datos de campo no existen, los estratos pueden crearse con base en las opiniones de expertos sobre los tipos de bosques que podrían tener niveles de biomasa distintos y estos pueden volver a combinarse más tarde si los datos de campo indican lo contrario.

La creación de un mapa de referencia forestal facilita la estimación del cambio en los bosques. Existen muchos enfoques para estimar el cambio en los bosques. La Sección 5.4.2 de este manual, la Sección 3.5.2 del GFOI MGD (GFOI, 2013) y el Paso 5.2 del Libro de consulta de la GOF-GOLD (GOF-GOLD, 2013) ofrecen información general útil sobre el rango de enfoques y metodologías disponibles. Una consideración clave es el tipo de cambio que se va a estimar. Como mínimo, debería estimarse la tala forestal (eliminación de todos los árboles), ya que esta es la fuente principal de emisiones en muchos países. Asimismo, debe tomarse una decisión sobre el tamaño mínimo de los claros que se estimarán. Mientras que la inclusión de zonas despejadas menores, es decir, menores que unas pocas hectáreas, pueden dar posiblemente una tasa más correcta y alta, el tiempo y los recursos necesarios pueden ser costosos, podrían dar como resultado mayores errores de clasificación y podrían no reflejar una fuente significativa de emisiones.

La degradación de la tala selectiva es más difícil de detectar y generalmente sólo se detectan las formas más intensivas y con datos obtenidos justo después de que ocurra la tala. Pueden considerarse otras

formas de degradación, como la fauna. De nuevo, no todas ellas deben estimarse en el mismo proceso. Por ejemplo, un país podría producir primero una estimación de la tala forestal usando un enfoque y después, usar otro diferente, como el muestreo de datos de alta resolución o incluso las encuestas específicas de campo, para la degradación.

Otras clases

Puede ser importante seguir estratificando las seis clases generales de uso en subclases en las que las reservas de carbono puedan variar considerablemente. Esto debería evaluarse como parte del análisis de categoría principal (ACP) nacional tratado en el Capítulo 3 y del proceso de estratificación forestal tratado en el Capítulo 4. La inclusión de las subclases puede brindar datos que son muy útiles para las estrategias nacionales de REDD+ y las políticas de manejo. Sin embargo, los países deberían tener una buena justificación para incluir las subclases, ya que requerirían metodologías que consumen más recursos. El aumento esperado en la exactitud y en la utilidad general de las estimaciones de emisiones debería evaluarse con claridad y los países deberían considerar la compensación que generalmente existe entre la precisión temática del estudio del cambio en el uso de la tierra y la exactitud de las estimaciones de cambio (p.ej., Mather, 1999; Foody, 2000). Esto queda ilustrado en los Cuadros 5.1 y 5.2 más adelante. El Cuadro 5.1 presenta un ejemplo de una matriz de cambio en la cobertura de la tierra con tres categorías generales (bosque, bosque degradado, no bosque). Por el contrario, el Cuadro 5.2 presenta un ejemplo de mayor precisión temática donde las categorías generales se han dividido en subclases.

Los asuntos relacionados con las subclases son un poco distintos para los bosques en comparación con los no bosques. Para los bosques, un país realizará una estratificación para un inventario nacional forestal. Esto puede hacerse una vez, siguiendo la creación del mapa de referencia forestal, ya que puede asumirse que no hay transición entre estos tipos de vegetación natural durante los periodos necesarios de reporte. Por el contrario, las transiciones entre los distintos usos de la tierra después de la deforestación suceden en periodos de tiempo breves. La distinción espectral de estos usos suele ser difícil, sobre todo cuando no se puede ser muy selectivo sobre la estación en la que se tomaron las imágenes utilizadas para el análisis debido a la nubosidad frecuente. Por ejemplo, puede ser difícil distinguir pastizales, tierras de cultivo, plantaciones y tierras de barbecho explotadas, dependiendo de la estación y el estado del desarrollo del cultivo en los momentos en que se obtuvieron las imágenes disponibles. De nuevo, hay que justificar bien las mejoras en las estimaciones de emisiones para justificar los intentos de incluir las transiciones entre estas clases.

Valdría la pena considerar un proceso por etapas que utilice distintos métodos y niveles de detalle para los distintos aspectos de monitoreo. Por ejemplo, un paso inicial podría ser crear un mapa de referencia forestal, con subclases forestales que tengan reservas de carbono considerablemente diferentes. Un segundo paso podría ser crear un mapa de una clase general y única de deforestación que sucede en cualquier lugar dentro de esta referencia. Al combinar ambos pasos, la deforestación puede atribuirse a distintas subclases forestales. Un tercer paso podría ser usar muestras aéreas o datos de muy alta resolución para estimar las proporciones de subclases que no son bosques después de la deforestación, así como cualquier transición importante entre ellas.

Una combinación de enfoques como estos puede brindar todas las estimaciones necesarias para completar una matriz completa de cambio en el uso de la tierra, a la vez que no requiere de un proceso muy difícil de clasificación espectral de todas las transiciones entre las subclases. Existen muchas opiniones y distintos puntos de vista entre la comunidad de investigadores en esta área.

Periodo 2

a)					b)					
	Bosque	Bosque degradado	No bosque	Suma Periodo I		Bosque	Bosque degradado	No bosque	% Periodo I	
PI	Bosque	9,940	40	20	10,000	Bosque	99,4	0,4	0,2	100
	Bosque degradado	5	1,970	25	2,000	Bosque degradado	0,3	98,5	1,3	100
	No bosque			4,000	4,000	No bosque			100,0	100
	Suma Periodo 2	9,945	2,010	4,045		% Periodo 2	99,7	98,9	101,5	

Cuadro 5.1: Ejemplo de matriz de cambio en el uso de la tierra con pocas clases de uso de la tierra y categorías de cambio. En este cuadro “Bosque” hace referencia únicamente a bosques no degradados. “No bosque” incluye todas las áreas no forestales tanto naturales como antropogénicas. Los valores en (a) son unidades absolutas, como las hectáreas, y en (b) son porcentajes. PI y P2 son el primer y segundo periodo, referidos en el IPCC como “clase inicial de uso de la tierra” y “uso de la tierra durante el año de reporte”. Los valores en Suma PI y Suma P2 son el área total y el porcentaje de cambio para cada clase. Los valores dentro de la matriz son áreas y el porcentaje de cambio en cada categoría de persistencia o cambio. En este ejemplo, la deforestación bruta más la degradación forestal es del 0,6 % (añadiendo los valores 0,4 y 0,2 en la primera fila de (b)).

a) P2

	Bosque bajo	Bosque montañoso	Bosque bajo degradado	Bosque montañoso degradado	Pastizal natural	Tierra de barbecho	Tierra agrícola	Pastura	Suma P1
PI	Bosque bajo	7945	35			3	5	7	7995
	Bosque montañoso		1995	5		2	3		2005
	Bosque bajo degradado	5		1500		2	6	12	1525
	Bosque montañoso degradado				470	1	4		475
	Pastizal natural				993		3	4	1000
	Tierra de barbecho					350	50	150	550
	Tierra de cultivo					200	700	100	1000
	Pastura					50		1400	1450
	Suma P2	7950	1995	1535	475	993	608	771	1673

b) P2

	Bosque bajo	Bosque montañoso	Bosque bajo degradado	Bosque montañoso degradado	Pastizal natural	Tierra de barbecho	Tierra de cultivo	Pastura	% P1
Bosque bajo	99,4		0,4				0,1	0,1	100
Bosque montañoso		99,5		0,2		0,1	0,1		100
Bosque bajo degradado	0,3		98,4			0,1	0,4	0,8	100
Bosque montañoso degradado				98,9		0,2	0,8		100
Pastizal natural					99,3	0,0	0,3	0,4	100
Tierra de barbecho						63,6	9,1	27,3	100
Tierra de cultivo						20,0	70,0	10,0	100
Pastura						3,4		96,6	100
% P2	99,7	99,5	98,8	99,2	99,3	87,5	80,8	135,1	

Cuadro 5.2: Ejemplo de la matriz de cambio en el uso de la tierra con clases del uso de la tierra y categorías de cambio más precisas. En este cuadro “Bosque” significa bosque intacto, no degradado, según la definición nacional de bosque. Pastizal natural, tierra de barbecho, tierra agrícola y pastura representan clases no forestales. Los valores en (a) son unidades absolutas, como las hectáreas, y en (b) son porcentajes. P1 y P2 son el primer y segundo periodo, referidos en el IPCC como “clase inicial de uso de la tierra” y “uso de la tierra durante el año de reporte”. Los valores en Suma P2 son el área total y el porcentaje de cambio para cada clase. Los valores dentro de la matriz son áreas y porcentajes de cambio en cada tipo de categoría. En este ejemplo, la mayoría del área forestal se da en los bosques bajos, la mayoría de la deforestación (tierras de barbecho, de cultivo y pasturas) y degradación forestal también se da en los bosques bajos. Asimismo, se indica un alto grado de uso rotativo de la tierra, por ejemplo, en las grandes áreas de cambio de tierra de cultivo a barbecho (200) o pastura (100). El 12,5 % de la reducción en la tierra de barbecho indica la intensificación del uso de la tierra ya sea mediante la reducción de los ciclos de barbecho o el aumento en la pastura permanente. El aumento del 35,1 % en la pastura indica un aumento importante en este uso.

5.3 PASOS Y GENERALES Y NECESIDADES

La Figura 5.1 ilustra las decisiones clave que un país debería tomar en cuenta cuando elabore un sistema de monitoreo forestal satelital efectivo y eficiente después de haber identificado qué categorías y subcategorías se van a monitorear y la escala del monitoreo. Estos criterios incluyen el tipo y la resolución de datos satelitales y el grado hasta el que se aplicará un enfoque de plena cobertura o basado en las muestras para monitorear distintas clases de cobertura de la tierra. Habrá que evaluar la disponibilidad de las distintas metodologías de monitoreo, incluidos los tipos y la disponibilidad de los distintos datos satelitales, el procesamiento previo, los algoritmos de clasificación, el nivel de automaticidad y la pericia del analista. En los casos en los que la automaticidad no es posible, es importante considerar cómo se logrará la consistencia y qué métodos se usarán para combinar de forma efectiva los datos pertenecientes a distintos periodos de tiempo. A continuación se aborda cada una de estas decisiones.

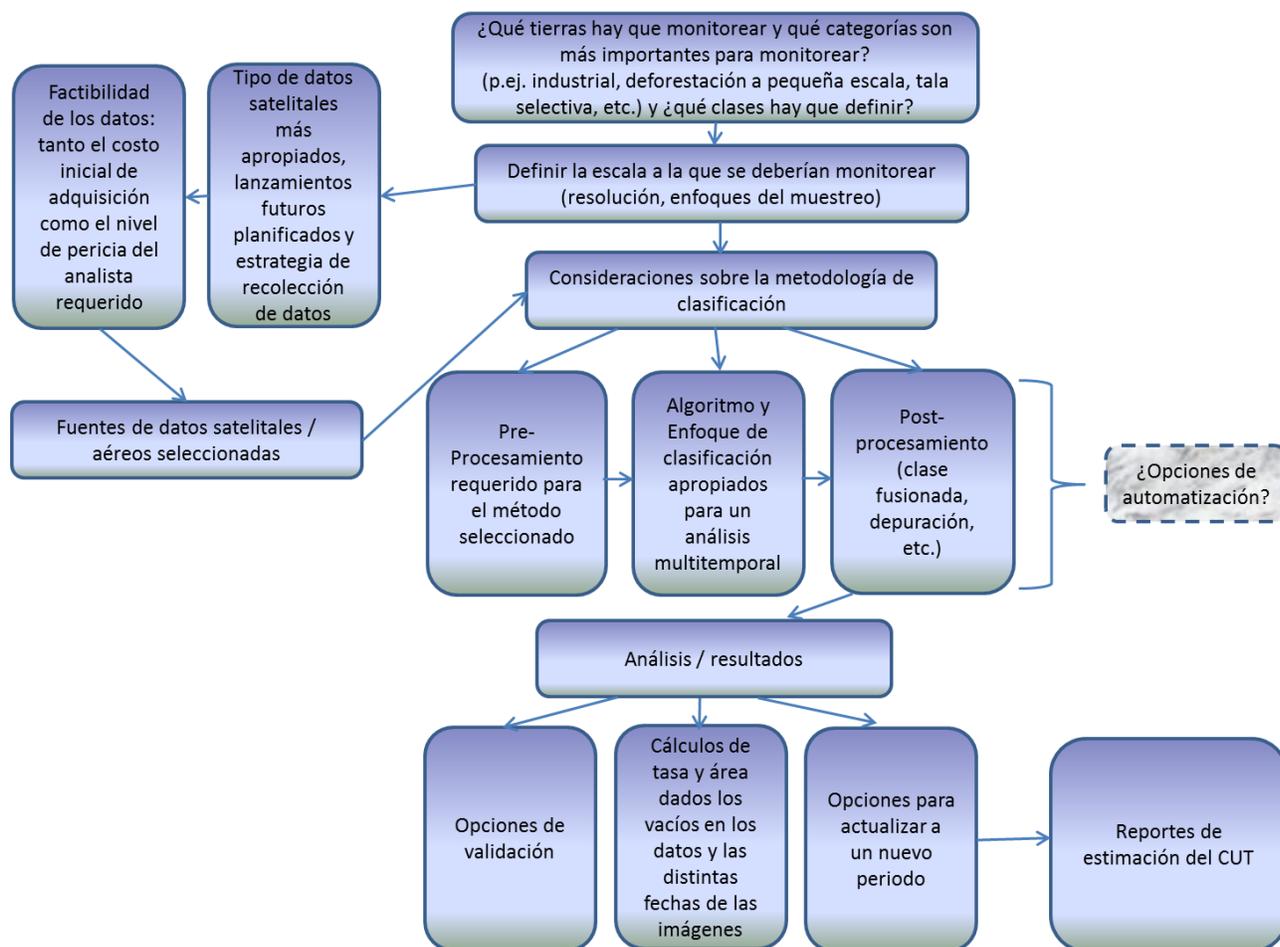


Figura 5.1: Consideraciones clave en la elaboración de un Sistema nacional de monitoreo forestal (SNMF).

1) ¿Qué categorías son más importantes para monitorear?

Un análisis de categoría principal (ACP) consiste en la identificación de las mayores fuentes de emisiones de GEI procedentes del uso de la tierra. Un ACP debería llevarse a cabo como parte de una estrategia de desarrollo de REDD+ en el contexto de la planificación y desarrollo nacional. Para la MRV, el proceso debería ampliarse y definir los tipos de cambios en la cobertura de la tierra que son los principales causantes de GEI y adaptar los tipos de cambios en la cobertura de la tierra a las categorías definidas por la OBP-UTCUTS. Por último, un país debe determinar la extensión geográfica de la tierra explotada y, por lo tanto, dónde debería realizarse el monitoreo (ver el Capítulo 2).

2) ¿Cuáles es la escala apropiada o los enfoques de muestreo para el monitoreo?

Una vez que se han evaluado las categorías y clases que van a monitorearse, es necesario considerar la escala y el enfoque apropiados. Por ejemplo, ¿los cambios ocurren en terrenos pequeños de varias hectáreas o son a escala mucho mayor? Los distintos tipos de cambios también pueden monitorearse de forma más apropiada usando distintas fuentes de datos. Por ejemplo, algunas dinámicas de uso de la tierra pueden ser muy apropiadas para el monitoreo satelital, mientras que otras dinámicas, especialmente algunas formas de degradación y post-deforestación en el cambio del uso de la tierra, pueden requerir un monitoreo de campo o aéreo. Esta última dinámica de uso de la tierra puede requerir procesos de recolección de datos más costosos y, por lo tanto, necesitar un enfoque de

muestreo. Además, algunos tipos de vegetación, como los bosques caducifolios, pueden necesitar datos de una estación particular o de múltiples estaciones en cada año, lo que de nuevo aumenta las exigencias en cuanto a los datos y el análisis.

3) ¿Qué aspectos metodológicos deberían tomarse en cuenta?

Un país debería considerar un rango de opciones metodológicas. Así evitaría: 1) el uso de métodos poco justificables con base en las pruebas del país o 2) pasar mucho tiempo investigando asuntos de los que se puede informar bien mediante trabajos ya existentes o que no son importantes para la posible exactitud de las estimaciones de emisiones finales. Existen muchos puntos de vista diferentes sobre los métodos óptimos de monitoreo del cambio en el uso de la tierra y, por lo tanto, un país debería buscar su propio grupo de expertos con sólidos antecedentes fundamentales en sensores remotos para acceder y entender completamente la bibliografía y las opciones relevantes. Un país debería obtener opiniones de una variedad de expertos internacionales y llevar a cabo evaluaciones con los datos nacionales que se centren en las categorías identificadas en la ACP.

Algunas de las preguntas principales a tomar en cuenta sobre las opciones metodológicas son:

- 1) ¿Qué tipos de datos satelitales son más apropiados para monitorear las clases identificadas?
- 2) ¿Qué tipo de enfoque de clasificación debería usarse?
- 3) ¿Qué tipos de procesos previos son necesarios para el método particular del análisis de imágenes que se está considerando y qué nivel de pericia se requiere por parte de los analistas?
- 4) ¿Qué proporción del proceso puede automatizarse y, para las partes que dependen de la interacción del analista, cómo se pueden garantizar la consistencia y fiabilidad?
- 5) ¿Cómo debería combinarse la información de distintos periodos de tiempo para producir estimaciones del cambio?
- 6) ¿Qué pasos en el proceso de clasificación posterior deberían aplicarse?
- 7) ¿Qué enfoque de validación debería utilizarse, incluidas las fuentes de datos y los muestreos?

Algunas de las consideraciones más importantes son si se usan datos ópticos o datos de Detección y Medición de Distancias por Radio (RADAR), qué resolución espacial se necesita y si la fuente de datos tiene un archivo y una estrategia de adquisición apropiada.

Para la pregunta 4, un país debería tener como meta la producción de las estimaciones más exactas posibles para las categorías principales mientras usa un enfoque que sea “replicable”. Este es un requisito fundamental de la OBP-UTCUTS, aunque sólo se define vagamente en el contexto del monitoreo satelital. La pregunta 5 abarca tanto el enfoque para procesar las imágenes satelitales de varias fechas como el enfoque para estimar las tasas de cambio de mapas del cambio en el uso de la tierra completos o las estimaciones de muestra.

Al distinguir el bosque maduro de las áreas de barbecho, ya sea durante la creación del mapa de referencia forestal o durante la estratificación de los bosques en este mapa, un país puede minimizar la confusión entre espacios abiertos del bosque maduro y los ciclos de barbecho en el proceso de monitoreo futuro. Aunque puede ser difícil identificar bosques secundarios antiguos de los bosques maduros, la mayoría de las áreas de barbecho con menos de 10 años son distinguibles y la gran mayoría

de los periodos de barbecho duran menos de 10 años. La pregunta 6 incluye la fusión de subclases temporales, posiblemente al combinar información de varios datos en un producto con varios datos únicos, y generalmente algún tipo de depuración para una unidad mínima de mapeo (UMM). La UMM debería ser más pequeña que el tamaño mínimo de terreno incluido en la definición nacional de bosque o debería explicarse que usar una UMM mayor no afecta de forma considerable las estimaciones de área resultantes. No obstante, si bien el uso de una UMM mayor puede no afectar las estimaciones de área de las áreas estadísticas de clases, las estimaciones del cambio pueden ser muy sensibles a la UMM. La pregunta 7, debería tomar en cuenta varias estructuras de muestreo y la disponibilidad de observaciones aéreas o satelitales de muy alta resolución, así como un equipo independiente de analistas para interpretar la validación de los datos y realizar cálculos de error.

5.4 FUNDAMENTOS SOBRE LOS SENSORES REMOTOS

En esta sección se presenta un resumen sobre los fundamentos de los sensores remotos. Hay muchos libros de texto sobre el uso de sensores remotos para la cobertura de la tierra. En el Apéndice 5B hay enlaces a recursos seleccionados de Internet.

5.4.1 Tipos y características de los datos obtenidos por sensores remotos

El uso de sensores remotos es el proceso mediante el cual se detecta la energía emitida o reflejada por un objeto a una longitud de onda determinada en el espectro electromagnético (EM), en vez de estar en contacto directo con ella. El ojo humano, por ejemplo, detecta una fracción relativamente pequeña del espectro total de energía que emite el sol, esta es la fracción visible del espectro EM. La cantidad y el tipo de la energía que se detecta se suele registrar en formato digital; la cantidad representa la fuerza de la señal y el tipo representa el registro de la señal en el espectro. Se suele asumir, aunque no siempre de forma válida, que se puede distinguir entre distintos tipos de cobertura de la tierra según la información registrada y que el uso de la tierra se puede inferir a partir de la cobertura de la tierra.

Los sensores remotos satelitales son los más comunes gracias a la cobertura total y repetida que ofrecen una o más fuentes de datos satelitales, permitiendo así el monitoreo nacional de aplicaciones terrestres. Los sensores remotos aéreos también generan interés ya que se pueden usar en regiones de gran tamaño o en países enteros, dependiendo del tipo de equipo, del enfoque de muestreo y de los recursos disponibles. Al mayor nivel, existen dos tipos generales de sensores remotos para monitorear la cobertura de la tierra: pasivos y activos.

Sensores remotos pasivos

La mayoría de los datos recogidos con sensores remotos y utilizados para monitorear el uso de la tierra son pasivos. Los datos pasivos recogidos con sensores remotos se obtienen con un sensor que recibe de forma pasiva energía proveniente de otra fuente. El instrumento no emite su propia señal. El sol es la fuente de las regiones visibles y espectrales de onda corta infrarroja de la Tierra, la característica propia es la fuente de las regiones termales infrarrojas (Figura 5.2). La fracción de la energía solar en estas regiones espectrales reflejada por la superficie de la tierra suele ser un indicio de las características estructurales y químicas de los rasgos de la superficie (Figura 5.3). Las distintas regiones espectrales están representadas por “bandas espectrales” relativamente estrechas (Figura 5.4), y, al combinar imágenes de energía medida en distintas bandas espectrales y la asignación de un color distinto en pantalla, se producen imágenes “multiespectrales”, como se ilustra en la Figura 5.5.

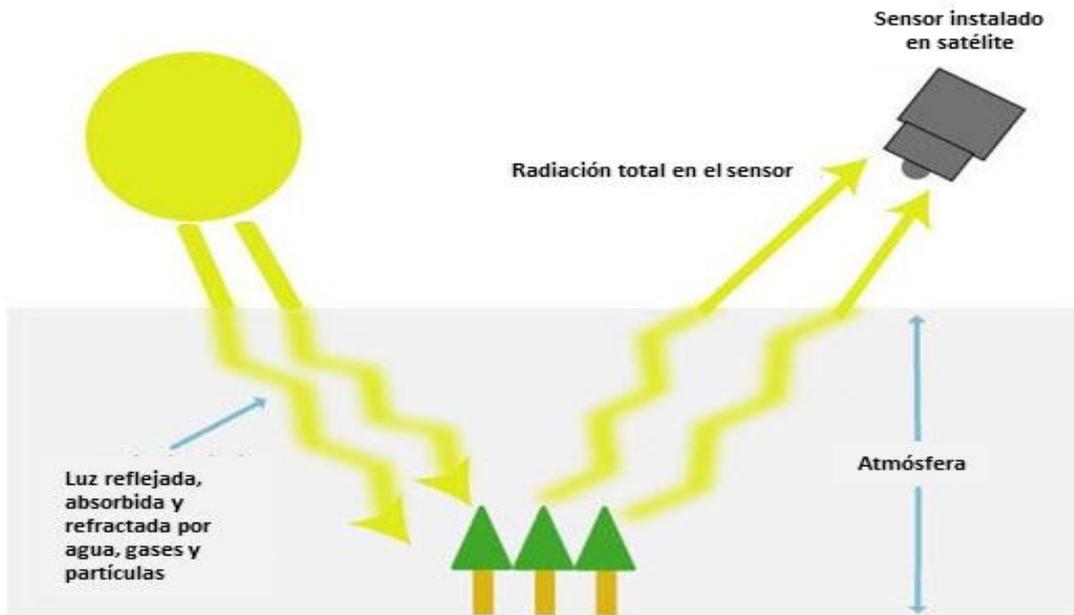


Figura 5.2: Uso de sensores remotos satelitales ópticos. El sol emite energía de onda corta, la energía pasa por la atmósfera, se refleja en una superficie, vuelve a pasar por la atmósfera y alcanza un sensor colocado en un satélite. La señal detectada no sólo depende de las propiedades de reflectancia de la superficie, sino también del ángulo del sol, la topografía, el ángulo de visión y las propiedades atmosféricas.

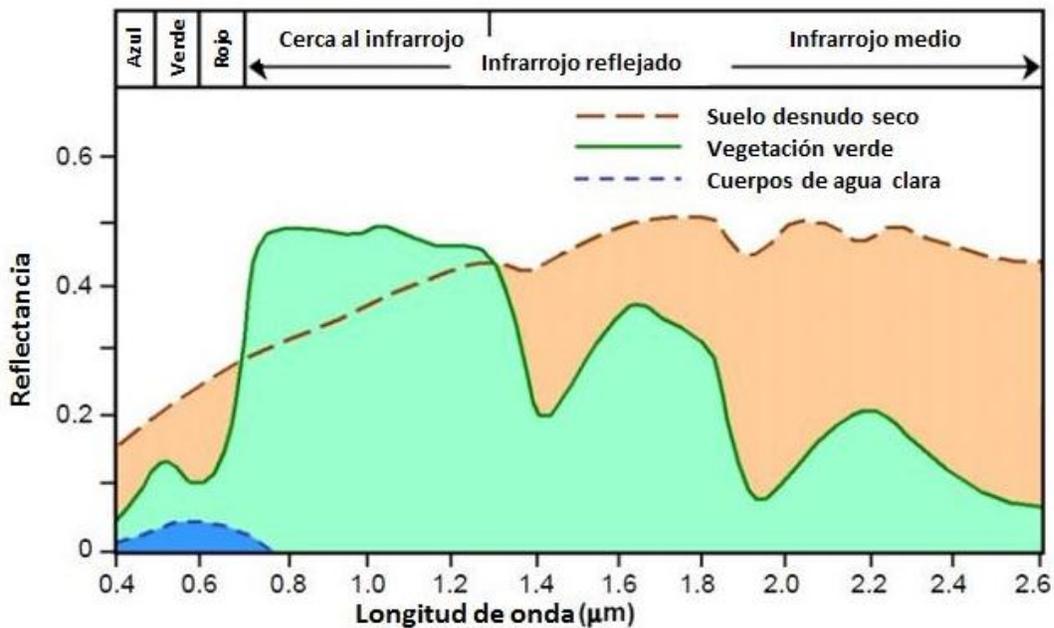


Figura 5.3: Curvas espectrales generalizadas de las características fundamentales en los sensores remotos usados en la detección de la cobertura de la tierra. La mayoría de los tipos de cobertura de la tierra son una mezcla de estas características, además de la vegetación de color distinto al verde y las sombras causadas por la geometría del terreno y la vegetación.

A)

B)



Figura 5.4: Ejemplo de resolución espectral. Tanto (a) como (b) representan la totalidad del rango visible del espectro electromagnético. Las bandas espectrales se definen a través de una variedad de longitudes de onda y en el ejemplo están divididas por líneas blancas. Un único canal de un sensor multispectral sólo es sensible a la energía de una banda específica. En (a), las bandas abarcan una amplia gama de energía, y un sensor con tales bandas sería considerado un sensor de banda ancha. En (b) las bandas son estrechas, y un sensor con canales en estas bandas tendría una alta resolución espectral. Un sensor, como el que se ilustra en (b), con tantos canales y bandas, sería considerado hiperespectral.

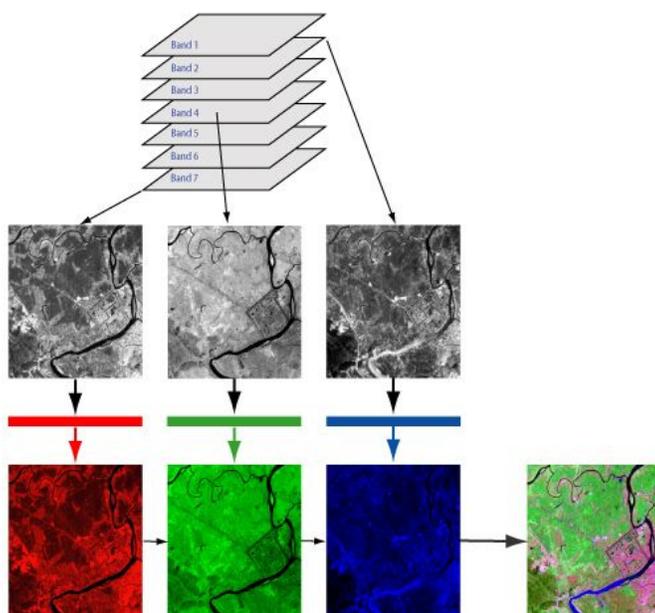


Figura 5.5: Combinación de datos de imágenes de tres canales de sensores para producir una imagen multispectral. Tales imágenes compuestas por colores ayudan en la visualización e interpretación de la cobertura de la tierra. Los niveles de brillo, que se muestran en tonos grises, representan los valores de cada canal.

Además de las regiones infrarrojas visibles y cercanas y de onda corta, los sistemas de sensores remotos pasivos también recopilan datos en la región termal. La energía termal es emitida por la misma superficie de la tierra, y, si bien no se suele usar para distinguir entre tipos de cobertura de la tierra, facilita la detección de nubes, incendios activos e islas urbanas de calor y para crear varios modelos de procesos de ecosistemas e interacción entre la vegetación y el clima.

Sensores remotos activos

En el uso de sensores remotos activos, un instrumento envía una señal a una longitud de onda determinada y mide el tiempo que tarda en regresar la señal retrodispersada y su potencia. RADAR y la Detección y medición de distancias por luz (LiDAR) son las técnicas de sensores remotos activos más comúnmente usadas en aplicaciones terrestres.

En los bosques, la información RADAR se relaciona principalmente con las características estructurales a la escala de longitud de onda de la energía que se detecta, mientras que los sensores ópticos miden la

energía reflejada que es en gran medida una función de la arquitectura del dosel forestal, los pigmentos de las hojas y el suelo. Los datos RADAR brindan información relacionada con la densidad de las hojas del dosel o sobre las ramas y los troncos de los árboles, dependiendo de la longitud de onda que se use. Los datos RADAR también son sensibles a la humedad del dosel y del suelo y la topografía ejerce una gran influencia sobre ellos. Una de las principales ventajas de los sistemas RADAR es su habilidad para penetrar las nubes gracias a sus longitudes de onda mayores y a la fracción de microondas del espectro EM. Debido a su sensibilidad a las propiedades geométricas de los bosques, se pueden aplicar los datos RADAR a la biomasa forestal. Por ejemplo, recientemente se utilizaron datos RADAR y datos provenientes de otras fuentes satelitales para elaborar dos mapas de la biomasa forestal global (Saatchi *et al.*, 2011; Baccini *et al.*, 2012).

Hasta hace poco, todos los sensores RADAR de los satélites sólo recopilaban mediciones en una banda de longitud de onda y en una polarización. Las imágenes resultantes no tenían la dimensionalidad de las imágenes multispectrales, y, por lo tanto, tenían un potencial limitado para clasificar los tipos de cobertura de la tierra. Varios de los satélites más recientes tienen sensores RADAR que recopilan datos en bandas múltiples y en distintas polarizaciones, ampliando así su utilidad para clasificar los tipos de cobertura de la tierra. En la Sección 5.5 se habla sobre RADAR en mayor detalle.

Al igual que ocurre con RADAR, los instrumentos LiDAR emiten un pulso de energía, parte de la cual es retrodispersada por el blanco al sensor. Luego se calcula la distancia entre el sensor y el blanco a partir del tiempo transcurrido que tarda la señal LiDAR en hacer un viaje completo de ida y vuelta. Sin embargo, en comparación con RADAR, LiDAR opera en las porciones infrarrojas visibles y cercanas del espectro EM, y, por lo tanto, no penetra las nubes. Las aplicaciones de LiDAR en la silvicultura se han centrado principalmente en la medición de la altura del dosel forestal, la topografía del subdosel y en la distribución horizontal y vertical de la vegetación. Estos parámetros pueden ser utilizados para elaborar modelos de las estimaciones de la biomasa por encima de la tierra (ver, por ejemplo, Clark *et al.*, 2004; Lefsky *et al.*, 2002; Lim *et al.*, 2003; Nelson *et al.*, 2009).

Los sistemas LiDAR se suelen clasificar en sistemas LiDAR de registro de onda completa y sistemas LiDAR de retorno discreto (ver la Figura 5.6). Los sistemas de registro de onda completa registran la totalidad de la forma de onda de un pulso que regresa, mientras que los sistemas de retorno discreto toman muestras de un número discreto de puntos, usualmente entre uno y cinco, por cada pulso transmitido. Ha quedado demostrado que ambas formas de LiDAR resultan útiles para estimar la biomasa forestal mediante la comparación de datos de campo y la elaboración de modelos. Si bien algunos instrumentos LiDAR sólo recopilan datos a lo largo de las líneas de muestreo, otros tienen habilidades de escaneo para recoger datos tanto a lo largo de las líneas de muestreo como entre ellas, permitiendo así la creación de imágenes.

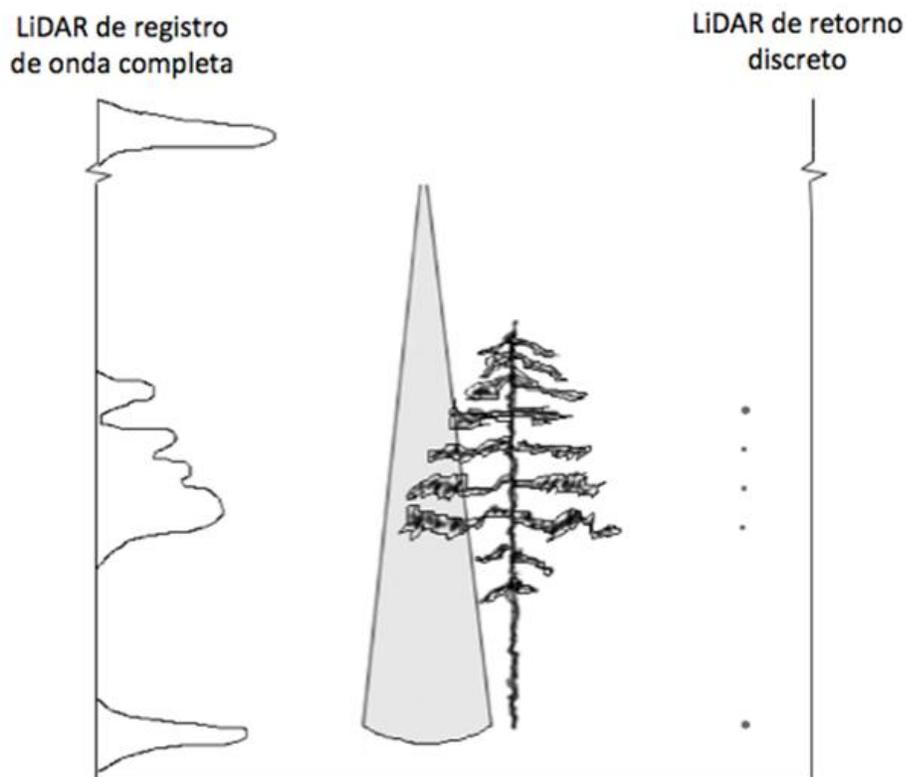


Figure 5.6: Ejemplo de LiDAR de registro de onda completa y de retorno discreto (Lim et al., 2003).

Hasta la fecha, la mayoría de los sensores remotos LiDAR han sido aéreos. Sin embargo, un instrumento LiDAR, el Sistema altímetro láser de geociencias (GLAS, por sus siglas en inglés) del Satélite de Hielo, Nubes y Elevación Terrestre (ICESat, por sus siglas en inglés), era satelital. Aunque el satélite ICESat ya no está operativo, el GLAS suministró información LiDAR de vías lineales en la ruta satelital con una resolución de tierra de 70 m. Las muestras lineales del GLAS sirvieron como información para los dos estudios de biomasa global que se mencionaron anteriormente.

Resolución y otras consideraciones

Además del tipo y de las características espectrales de distintas imágenes, se debe tomar en cuenta: la resolución espacial y temporal, la estrategia de recopilación de datos, el costo de conseguir las imágenes y la longitud del archivo de imágenes. La resolución espacial es importante ya que la resolución debe ser lo suficientemente fina como para captar los cambios de interés (es decir, como mínimo la mitad del tamaño de la escala de cambios). Los datos disponibles públicamente tienen resoluciones espaciales que oscilan entre 0,7 m y 1 km. Los datos utilizados para monitorear la cobertura de la tierra tienen resoluciones que oscilan entre 5 m y 30 m. Por ejemplo, una resolución de observación de 30 m, o pixel, representa un área terrestre de 900 m² (30 m x 30 m). Con esta resolución, un área terrestre de una hectárea estaría representada por 11 pixeles.

Las resoluciones espaciales más gruesas se utilizan en estudios globales y generalmente no son adecuadas para el monitoreo de la cobertura de la tierra, ya que estos datos no detectarán cambios a menor escala. El uso de estos datos para monitorear la cobertura de la tierra genera un sesgo inherente en las estimaciones derivadas. En cambio, los datos de alta resolución, de menos de 10 m, sólo se han usado tradicionalmente en áreas pequeñas debido al costo y a la frecuencia de disponibilidad. Sin embargo, a medida que aumenta la disponibilidad de los datos de alta resolución y su costo es más

asequible, aumenta la funcionalidad de utilizar estos datos en áreas de gran tamaño, sobre todo mediante el muestreo.

La resolución temporal se refiere a la frecuencia con la que se recopilan datos. Muchos satélites, como el Landsat, tienen órbitas definidas que dictan con qué frecuencia el satélite regresará a observar el mismo sitio en la Tierra y a hacer una nueva imagen. Landsat regresa a la misma ubicación cada 16 días, lo que significa que cada área puede ser monitoreada como máximo cada 16 días. Sin embargo, la nubosidad persistente suele reducir la frecuencia con la que se obtienen imágenes útiles. Otros satélites, incluidos muchos de los sensores de alta resolución como RapidEye, Quickbird, IKONOS, WorldView-2, la serie SPOT HRV, CBERS HRC, GeoEye-1 y -2, la constelación DMC, KOMPSTAT-2 o RESOURCESAT-1 se pueden redirigir, lo que significa que se pueden ladear para observar un área que esté a un ángulo de su órbita definida. Aunque esto puede traer como consecuencia que se hagan imágenes de la misma área con mucha mayor frecuencia, esta repetición de imágenes ocurre en periodos breves y algunas requieren la asignación de tareas. Si bien esto ha limitado históricamente la utilidad de usar estos satélites en labores de monitoreo, en el Recuadro 5.3 se resaltan dos ejemplos en los que se usa un gran número de imágenes de muy alta resolución para desarrollar los SNMF.

Recuadro 5.3. Ejemplos de uso de imágenes de alta resolución en los SNMF

Mientras que muchos países generan mapas forestales de referencia y productos de monitoreo de deforestación usando imágenes Landsat, algunos países están investigando la utilidad de otras fuentes de, por ejemplo, imágenes de mayor resolución para fines de monitoreo, sobre todo en áreas en las que prevalece la degradación. En Guyana, por ejemplo, ha implementado una actividad de monitoreo anual a nivel nacional utilizando imágenes detalladas “de pared a pared” de RapidEye. Para Guyana, RapidEye, con cinco bandas MSI de 6,5 m, ha resultado particularmente útil para evaluar y abordar el impacto de la degradación forestal.

La amplitud de la serie temporal de los archivos de datos es otro elemento importante a tomar en cuenta en el desarrollo de análisis históricos, incluso en el caso de periodos tan recientes como la última década. Para facilitar el monitoreo constante y la logística, es preferible trabajar, en la medida de lo posible, con una única fuente de datos a lo largo de un periodo de estudio. La serie Landsat es la fuente de datos más común para monitorear los cambios en la cobertura de la tierra, ya que los datos del escáner multiespectral (MSS) se remontan a 1972 y los del mapeador temático (MT) a 1982. La Figura 5.7 ilustra la historia de archivos de la serie satelital Landsat. Además, ya que los satélites Landsat tienen una órbita definida, se obtiene aproximadamente la misma área cada vez que el satélite vuelve a observar el mismo punto de la Tierra, lo que significa que se solapa la mayoría de los pares de imágenes de fechas múltiples.

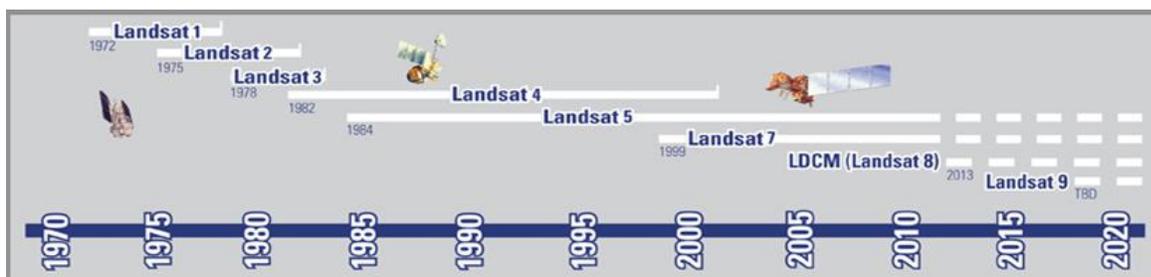


Figura 5.7: Cronología del archivo Landsat. Landsat 1-3 sólo llevaban el instrumento MSS; Landsat 4-5 llevaban instrumentos MSS y MT, Landsat 7 lleva el instrumento ETM+, pero desde 2003 ha experimentado interrupciones en los datos por daños mecánicos, Landsat 8 lleva instrumentos OLI y TIRS. Tomado de http://Landsat.usgs.gov/about_ldcm.php

Finalmente, el lanzamiento futuro de un sensor del programa satelital y la estrategia de adquisición de datos, junto con las políticas de costos, son factores importantes a tomar en cuenta cuando se planifica el programa de monitoreo. La Misión de continuidad de datos Landsat (LDCM, por sus siglas en inglés), por ejemplo, garantiza que los satélites futuros de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) sigan suministrando registros de datos a largo plazo, incluido el exitoso lanzamiento de Landsat 8 en febrero de 2013. La política de datos gratuitos de Landsat permite flexibilidad en el uso de los datos. Los costos de otras fuentes de datos también están tendiendo a la baja. El próximo lanzamiento de la serie Sentinel-2, incluido el lanzamiento de 2A programado para 2015, brindará una fuente adicional de imágenes que podrán ser tomadas en cuenta en el desarrollo del SNMF (ver el Recuadro 5.4). RapidEye, con cinco satélites en su constelación actual, ha planificado una misión subsiguiente para 2019-2020, brindando así otra fuente de datos para un largo periodo. En la Sección 5.6 se presenta un cuadro de opciones de datos satelitales actuales y futuros, incluidas sus características.

Recuadro 5.4: Futuras fuentes adicionales de datos a ser tomadas en cuenta en el desarrollo de los SNMF; el ejemplo de Sentinel-2

La Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) es responsable del componente espacial del programa Copérnico, en el cual se están construyendo una serie de satélites conocidos como Sentinels. La serie Sentinel-2 de satélites de imágenes multispectrales, con 13 bandas ubicadas en las longitudes de onda VIS, NIR y SWIR y en resoluciones espaciales de 10 m, 20 m y 60 m, brindarán opciones adicionales de datos a tener en cuenta en el desarrollo del SNMF. El primer satélite, Sentinel-2A, será lanzado entre mayo y julio de 2015 y ofrecerá un tiempo de revisita de 10 días. Cuando se lance la segunda unidad (Sentinel-2B) en 2016, será posible un tiempo de revisita de 5 días. La interoperabilidad entre estos sensores y las misiones Landsat mejorarán aún más el tiempo de revisita y la disponibilidad general de datos. Sobre la base de la política gratuita, plena y abierta de datos adoptada por el programa Copérnico, los productos de datos Sentinel están a disposición de todos los usuarios.

En resumen, las características principales de los datos a tomar en cuenta son:

- ¿Cuáles son las condiciones geográficas, fenológicas y atmosféricas (especialmente la cobertura nubosa persistente) existentes?
- ¿Cuáles son las regiones espectrales, y las bandas existentes en ellas, en las que se recopilan los datos y cuál es su relación con el potencial para distinguir entre los tipos de cobertura de la tierra de interés y los cambios entre ellos?
- ¿Cuál es la resolución espacial de los datos y cuán apropiada es, en relación con la escala de los cambios en la cobertura de la tierra que va a ser monitoreada?
- ¿Cuál es la resolución temporal en términos de la posible frecuencia de adquisición de observaciones no nubosas en comparación con la frecuencia deseada de monitoreo?
- ¿Cuál es la longevidad de la longitud del archivo de imágenes? ¿Cumple esto con las necesidades históricas de mapeo?
- ¿Cuáles son las implicaciones de costo de estos datos en término de compra y análisis?
- ¿Cuál es el futuro desarrollo satelital y los compromisos de lanzamiento?

5.4.2 Procesamiento previo, análisis y procesamiento posterior de imágenes

El procesamiento previo o el pre procesamiento son todos los pasos previos que se realizan a las imágenes antes de la etapa de clasificación de cobertura; y el análisis de imagen es el proceso de generación de una clase de cobertura de la tierra para todas las partes de una imagen. El procesamiento posterior ocurre después del paso de análisis de imagen y permite la estimación de tasas y patrones de cambio de la cobertura de la tierra a ser generados.

El procesamiento previo suele incluir el registro y el correregistro geométrico, la corrección atmosférica y la transformación ocasional de datos. La corrección atmosférica podría ser necesaria dependiendo del enfoque de análisis de imágenes que se vaya a utilizar. La transformación de datos, aunque útil, es opcional dependiendo del enfoque de análisis de imágenes. Como se resumió anteriormente, las actividades de procesamiento posterior pueden incluir varios pasos. Finalmente, se requiere el cálculo de las tasas de cambio y las estimaciones de error. El resumen de los pasos de procesamiento previo, análisis y procesamiento posterior se basa en los datos ópticos y los enfoques de clasificación, usando ejemplos de análisis de datos Landsat.

Procesamiento previo de imágenes

Registro y correregistro geométrico

El registro geométrico es el proceso de mapear datos en un sistema de coordenadas geográficas, a fin de entender el área geográfica representada. Se aplica cuando se importa una imagen a un SIG o a un formato de análisis de imagen para que sea procesada.

No obstante, el registro geométrico puede tener errores de hasta centenas de metros. Por lo tanto, el hecho de que las imágenes hayan sido registradas geométricamente no significa que las imágenes provenientes de la misma área y adquiridas en fechas distintas vayan a coincidir lo suficiente para evitar errores en las estimaciones de cambio que sean resultado de un correregistro deficiente. Por lo tanto, puede que el correregistro siga siendo necesario. El correregistro es un proceso estándar, simple y breve que consiste en la identificación de una imagen que será utilizada como imagen base a las que se corre registrarán las imágenes restantes. Aunque las opciones de automatización en el procesamiento de un gran número de imágenes van en aumento, los métodos tradicionales de análisis también resultan suficientes. La Inspección Geológica, o más comúnmente el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) ha vuelto a procesar la mayor parte del archivo Landsat, lo que ha dado pie a la creación de un producto LIT de *precisión y terreno corregido*²⁵. Estos datos ya han sido corregidos geométricamente utilizando puntos precisos de control en tierra e información de la Misión Topográfica Radar Shuttle (SRTM, por sus siglas en inglés) y de un modelo digital de elevación (MDE), generando un conjunto de datos con exactitudes de 30 m, y eliminando de esta forma la necesidad de hacer más correcciones geométricas. Se debería revisar el correregistro entre las imágenes y quizás haya que hacerle ajustes.

Corrección atmosférica

La atmósfera tiene varios efectos en la energía visible e infrarroja a medida que ésta pasa a través de la atmósfera al desplazarse desde el sol a la tierra y al regresar a un satélite o a un sensor aéreo (Figura 5.8). La corrección atmosférica se suele hacer junto con una corrección de la función de distribución de la reflectancia bidireccional (BRDF). La BRDF define cómo la luz se refleja en una superficie y depende de la dirección de incidencia y reflexión.

Las imágenes corregidas atmosféricamente contienen datos que representan la reflectancia de la superficie, en valores sin unidades de cero a uno, en lugar de los números digitales de los datos de imagen en formato *raw*. La mayoría de los algoritmos de corrección atmosférica se aplican a las imágenes satelitales antes del mapeo y utilizan un algoritmo de una única corrección para la imagen total. Estos

²⁵ http://landsat.usgs.gov/descriptions_for_the_levels_of_processing.php

generalmente asumen condiciones atmosféricas constantes en las imágenes, aunque se están haciendo investigaciones para explicar la variabilidad de las imágenes.

Las correcciones atmosféricas dependen del enfoque de análisis de imagen que se usa (Song *et al.*, 2001). Los enfoques de clasificación que consisten en la creación de subclases para cada tipo de uso y cambio de la tierra pueden generar mapas precisos sin corrección atmosférica, porque las subclases pueden explicar distintas condiciones atmosféricas. En cambio, los métodos que aplican firmas de clase en imágenes con condiciones atmosféricas variables deberían incluir la corrección atmosférica. Algunos métodos semiautomatizados aplican firmas constantes en imágenes múltiples o fechas de imágenes, y estos métodos dependen en gran medida de una cuidadosa corrección atmosférica.

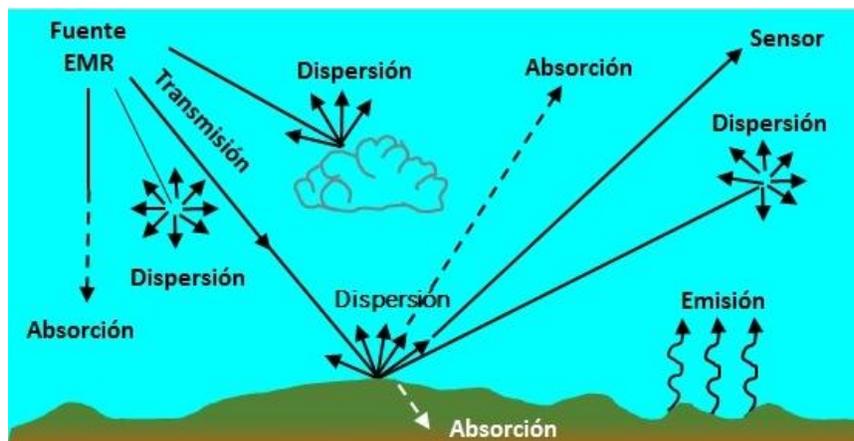


Figura 5.8: Efectos atmosféricos sobre los datos ópticos. La fuente de radiación electromagnética es el sol y esta radiación puede ser bloqueada o dispersada por las nubes, además de poder verse afectada por la atmósfera “clara”. La atmósfera “clara” también causa dispersión y absorción de la radiación cuando se transmite del sol a la Tierra y de allí al satélite. El sol y los ángulos de visión del sensor también influyen en los efectos de la atmósfera. La BRDF caracteriza cómo un objeto iluminado por una fuente, como el sol, parece más brillante o más oscuro dependiendo del ángulo de la fuente y del ángulo al que el sensor satelital lo observa.

Hay varios programas con los que se pueden hacer correcciones atmosféricas de imágenes enteras. LOTRAN y 6S son los más comunes, y se han creado varias herramientas para facilitar su aplicación. Ejemplo de ello es el Sistema de Procesamiento Adaptable de Perturbación del Ecosistema Landsat (LEDAPS, por sus siglas en inglés) (Masek *et al.*, 2008). LEDAPS usa información sobre el vapor de agua, la presión atmosférica, el ozono, una corrección de dispersión de Rayleigh dependiente de la topografía y un componente de aerosol de espesor óptico basado en Kaufman *et al.* (1997) para general un valor de reflectancia de superficie para cada pixel. LEDAPS también genera máscaras de agua, nubes, sombras de nube y nieve.

Estas correcciones se pueden aplicar a varias imágenes parcialmente nubladas de la misma área. Luego, se pueden combinar estas imágenes para producir un único mosaico compuesto “con huecos llenos”. Mientras que las correcciones se aplican a todas las imágenes, y, por lo tanto, el compuesto resultante debería ser constante, pueden permanecer los artefactos atmosféricos, apareciendo como áreas más oscuras o más claras (Figura 5.9) y requiriendo que cada imagen corregida atmosféricamente se clasifique por separado y luego se combinen. Alternativamente, se pueden aplicar los algoritmos adicionales basados, por ejemplo, en combinaciones de histogramas locales, a fin de reducir aún más los artefactos. Además, a partir del verano del 2013, todos los datos Landsat, incluidos aquellos de la Misión

de continuidad de datos Landsat (LDCM, por sus siglas en inglés), estarán disponibles con correcciones de reflectancia arriba de la atmósfera²⁶ (TOA, por sus siglas en inglés).

²⁶ http://landsat.usgs.gov/about_LU_Vol_7_Issue_2.php#3b

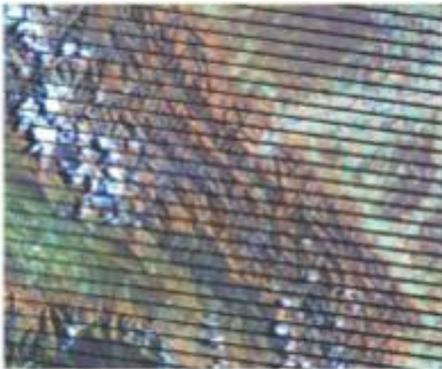
A)



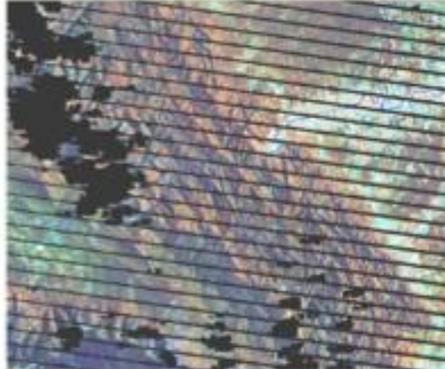
B)



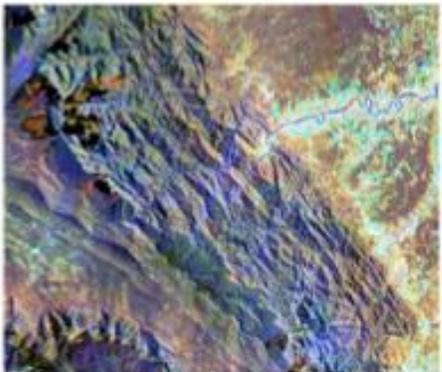
C)



D)



E)



F)

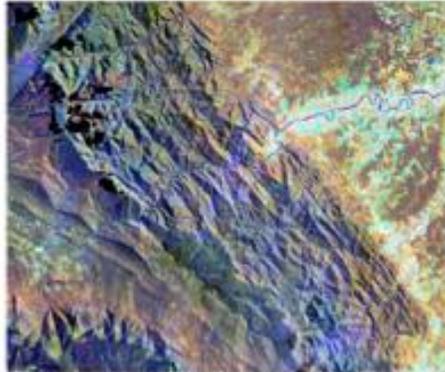


Figura 5.9: Ejemplo de corrección atmosférica de datos Landsat de San Martín, Perú. **A)** Un “compuesto de colores verdaderos” sin estirar, en los que las bandas rojas, verdes y azules se asignan a los colores rojo, verde y azul de la pantalla. Las líneas negras son lagunas por desactivación del corrector de líneas escaneadas (SLC-off). **B)** la misma imagen, pero con un estiramiento Gaussian aplicado al histograma de datos. **C)** las bandas de infrarrojo cercano, infrarrojo medio y rojas asignadas a los colores rojo, verde y azul, una designación común para un “compuesto de color falso”, lo que permite la exploración visual de los datos infrarrojos. **D)** lo mismo, pero después de la corrección atmosférica, con una máscara de nube/nube-sombra aplicada usando LEDAPS. Obsérvese que si bien se han llenado las lagunas lineales, quedan algunas de los huecos de nube, ya que también eran nubes en la segunda imagen, por lo que se requieren imágenes adicionales. **E)** un mosaico de dos imágenes corregidas atmosféricamente, pero sin combinación de histogramas entre ellas. Obsérvese los artefactos de tono naranja que aparecen a la izquierda de los huecos restantes de nubes en la esquina superior

izquierda de la imagen. F) mosaico de las mismas dos imágenes, pero con la aplicación de combinación de histogramas. Los artefactos en E) ya no son visibles.

Transformación de datos

Algunos métodos de análisis incluyen técnicas de transformación de datos, tales como varias formas de ordenación previa a la clasificación. El análisis de componentes principales (ACP) es un ejemplo de una técnica de transformación en la que participa la ordenación. Estas técnicas alteran la información para facilitar la interpretación. En la clasificación de tipos de vegetación se ha usado en gran medida la transformación “Tassled Cap”. El análisis de mezcla espectral (SMA, por sus siglas en inglés) constituye otro enfoque de transformación de datos. El SMA utiliza reflectancias espectrales estimadas de un conjunto de características “puras” que tienen como objetivo representar las superficies observadas. En las tierras con vegetación, por ejemplo, éstas son hojas iluminadas por el sol, suelo, y vegetación leñosa u hojarasca. En teoría, se podría dividir el suelo en tipos múltiples de suelo con distintas propiedades de reflectancia, y se podría incluir el agua. Por lo general, también se incluye la sombra, ya que es una característica importante de la mayoría de las imágenes espectrales por la geometría de los doseles forestales con vegetación.

El SMA consiste en definir la reflectancia espectral de cada característica principal que representa el paisaje objeto de estudio, así como estimar las proporciones de cada componente de cada pixel sobre la base de estas reflectancias. La definición de las características puras se puede hacer a través de un análisis de laboratorio, de un análisis de campo o mediante la bibliografía. Cuando se aplican en el SMA, se conocen como “miembros del extremo espectral”, ya que están ubicadas en los extremos exteriores de la distribución multidimensional de los datos espectrales. Los miembros del extremo también se pueden definir seleccionando los pixeles extremos en los datos multidimensionales, conocidos como “miembros del extremo de imágenes”. Sin embargo, si se utilizan miembros del extremo de imágenes, los análisis resultantes de SMA sólo resultan relevantes para esa imagen. Un resultado podría estimar, por ejemplo, que un pixel particular representa una observación de una zona de tierra que es un 30 % hojas iluminadas por el sol, un 20 % suelo y un 50 % sombra. Estos pueden visualizarse como “imágenes fraccionarias” y utilizarse como aportes para las clasificaciones. El SMA puede ser un enfoque útil para entender los datos espectrales contenidos en los datos de imágenes, ya que explica los datos en términos de características físicas. Al igual que el ACP, y otros tipos de ordenación de datos, el SMA no añade al contenido de información. Dependiendo del enfoque de clasificación que se use, estas técnicas podrían ayudar a producir una clasificación más exacta o eficiente del uso de la tierra.

Clasificación

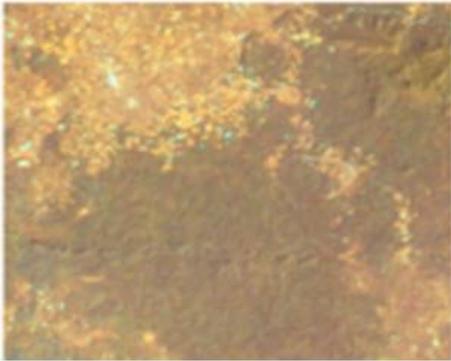
La clasificación de la cobertura de la tierra produce una representación temática de la tierra mediante la categorización de pixeles según sus firmas espectrales. Hay dos tipos generales de clasificación: supervisada y no supervisada.

En la clasificación supervisada, el analista identifica “sitios de entrenamiento” y crea datos de entrenamiento delineando las áreas conocidas de cada clase. Se calculan las estadísticas de los datos de pixeles en estas áreas y, como mínimo, éstas incluyen las medias, las varianzas y la matriz de covarianza de los datos espectrales, definiendo “la firma espectral” de cada clase. Se puede evaluar el nivel de separabilidad estadística entre las clases y esto puede implicar la necesidad de combinar o añadir subclases adicionales. Sobre la base de estas estadísticas, se pueden utilizar varios algoritmos para estimar la clase más probable de pixeles restantes sin identificar, generando una imagen clasificada.

A menudo se evalúan las clasificaciones resultantes y, sobre la base de errores conspicuos, se modifican los datos de capacitación y se lleva a cabo una nueva repetición de la clasificación. Algunos de los algoritmos comunes en los paquetes de programas informáticos de sensores remotos son, en orden de

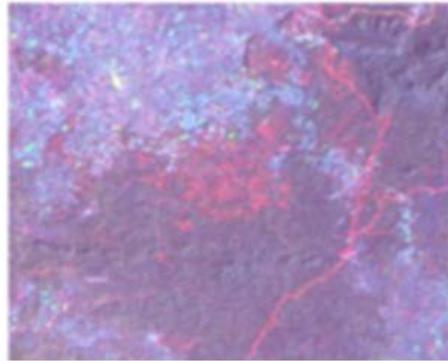
complejidad creciente: paralelepípedo, distancia mínima, probabilidad máxima y distancia de Mahalanobis. La figura 5.10 ilustra el enfoque de clasificación supervisada.

A)



Landsat-4-5-3 Compuesto –Circa 1990

B)



Landsat-11-5-4 Compuesto –Cambio de 1990 a 2000

C)



Desarrollo del emplazamiento de capacitación

D)



Mapa clasificado y filtrado – Cambio de 1990 a 2000

Figura 5.10: Ejemplo de una clasificación supervisada de dos fechas de imágenes en un solo proceso, de Liberia. Las imágenes espectrales (A) de dos fechas se pueden combinar y observar para ver con más facilidad los cambios espectrales (B) que indican cambios en el uso de la tierra. Los sitios de capacitación se pueden dibujar (C) sobre la base de datos de campo y aéreos, así como del conocimiento del analista de un área y la experiencia en la interpretación. Estos forman la base de las estadísticas de clase que se utilizan para clasificar el resto de la imagen. A menudo, se filtra el producto final (D) para eliminar errores menores y falsos.

En la clasificación *no supervisada* no se aplica un proceso de entrenamiento. En vez de eso, los algoritmos identifican píxeles espectralmente similares y luego los asignan a un número de grupos especificados por el usuario. Luego el analista revisa el resultado de la clasificación no supervisada y cada grupo es etiquetado a una clase sobre la base de la interpretación visual que hace el analista de los datos espectrales, la ubicación de los píxeles y el campo secundario disponible o de otros datos. Normalmente se hacen repeticiones adicionales para separar aún más los grupos que se superponen a tipos distintos de cobertura de la tierra. El algoritmo ISODATA es común en la mayoría de los paquetes de programas informáticos.

Una supuesta ventaja de la clasificación supervisada en comparación con la no supervisada es que el analista dirige el proceso sobre la base del conocimiento *a priori* del área que se está clasificando. En cambio, una supuesta ventaja del enfoque no supervisado es que el algoritmo evalúa la distribución de los propios datos. Los algoritmos supervisados que exploran la distribución de los datos, al tiempo que

le permiten al analista dirigir el proceso mediante capacitación, son cada vez más utilizados. Dos algoritmos de este tipo son los árboles de decisión (*decision trees*, AD) y las redes neuronales (*neural networks*, RN). Los AD funcionan buscando de forma reiterativa una separación binaria en los datos de cada una de las bandas, sobre la base de los datos en los sitios de capacitación identificados por el analista. La separación es aquella que optimiza la precisión en esa etapa de desarrollo del AD. A menudo, el árbol final está compuesto por cientos de separaciones y nodos terminales que representan las clases de cobertura de la tierra contenidas en los datos de entrenamiento.

A los AD se les puede aplicar procesos de “impulso” y “poda” para mejorar la eficiencia y reducir el número de separaciones finales. Los AD resultantes son un conjunto de reglas que se aplican al resto de los píxeles para producir una imagen clasificada. Muchos estudios han usado los AD para generar resultados robustos de clasificación en muchas regiones (Friedl *et al.*, 1999; Hansen *et al.*, 2000; Pal y Mather, 2003; Rogan *et al.*, 2003; Hansen *et al.*, 2008b).

Las RN intentan imitar el proceso del aprendizaje humano para asociar una clase con datos de imagen. Hay muchas variantes de las RN, aunque las RN pueden funcionar más lentamente que los AD. Se ha llegado a preferir los AD y las RN a los algoritmos de máxima probabilidad y de otra clasificación. Hace poco, se aplicaron con éxito métodos de clasificación de grupos forestales aleatorios a la cobertura de la tierra y a la clasificación de cambios de la cobertura de la tierra (Pal, 2005; Gislason *et al.*, 2006; Rodríguez-Galiano *et al.*, 2012). Este enfoque, a diferencia de los AD, selecciona al azar algunas de las variables, no todas, para construir el árbol resultante e identifica las separaciones resultantes únicamente sobre la base de este subgrupo de variables. Estos métodos no sufren de sobrevaloración, que puede ser un problema en el caso de los AD, y por lo general rinden de forma eficiente.

Otros enfoques de exploración incluyen el aprendizaje de técnicas de clasificación, incluidos los bosques aleatorios²⁷ (*random forests*), en los cuales se construyen múltiples árboles de decisión y se selecciona una clase de resultados sobre la base de la mayoría de los votos de todos los árboles. Por ejemplo, los bosques aleatorios podrían ser particularmente útiles en áreas en las que la separación espectral de los tipos de vegetación es limitada.

Todos los enfoques mencionados anteriormente son ejemplos de clasificación “por píxel”, lo que significa que el píxel únicamente se clasifica según sus características espectrales. Cualquiera de estos métodos se puede expandir para que formen parte de la clasificación contextual. En los contextos de clasificación contextual, el píxel se clasifica sobre la base de sus propias características espectrales y las características de los píxeles circundantes. La clasificación textural es un tipo de clasificación contextual. En este enfoque, se utiliza la varianza de los píxeles en una ventana específica alrededor del píxel central, por ejemplo, una ventana de píxeles de cinco por cinco, para dar información sobre la clasificación. Otro tipo podría usar el promedio de los píxeles en la ventana u otro tipo de medida. También se puede usar la ponderación para aplicar distintos pesos a los píxeles que están más cerca del píxel central que se está clasificando o que están en el punto más alejado de éste.

La segmentación de imágenes, otro enfoque contextual, es un método estadístico que agrupa píxeles contiguos en áreas (segmentos) que son relativamente homogéneas. La segmentación generalmente representa un paso intermedio previo a la clasificación, y los algoritmos de segmentación permiten al analista especificar el tamaño relativo y la forma de los segmentos. Luego se puede clasificar la imagen segmentada resultante a nivel de segmento y no a nivel de píxel, lo que brinda información adicional que puede utilizar el algoritmo de clasificación o el analista mientras desarrolla los sitios de datos de capacitación.

²⁷ http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm

Cada uno de los enfoques mencionados anteriormente se puede aplicar a una imagen a la vez o a mosaicos de imágenes de la misma área y del mismo periodo de tiempo. También pueden aplicarse a datos de imágenes multitemporales, es decir, a imágenes desde el principio hasta el final del periodo de estudio. Esto permite la estimación directa del cambio y persistencia de las imágenes multitemporales. Para la estimación de cambios se suele recomendar cierta forma del proceso de “estimación de cambios directos”. Este proceso también incluye un único paso de clasificación que arroja una clasificación de dos fechas, en vez de la clasificación de dos imágenes individuales y dos resultados de clasificación de fecha única, los cuales podrían contener errores. Estos errores se agravarían cuando se combinen los dos mapas durante el procesamiento posterior.

Algunos enfoques recientes y semiautomatizados utilizan más información del archivo de datos que una imagen única desde la fecha de inicio y otra desde la fecha de finalización. Estos enfoques podrían estar basados en la señal estacional de distintos tipos de vegetación y estiman cambios basados en los sitios en los que se detecten anomalías en estas señales estacionales (ver, por ejemplo, Friedl *et al.*, 2010 o Kiang *et al.*, 2012). Otros enfoques extraen todos los datos disponibles, tales como la totalidad del archivo Landsat, y generan muchas medidas multitemporales, tales como la “tendencia lineal en reflectancia roja” o la “reflectancia infrarroja media máxima registrada desde la fecha inicial” (p. ej., Hansen *et al.*, 2008a; 2008b). Éstas resultan muy potentes porque es más probable que se capturen todas las señales breves de cambios en el uso de la tierra y se utilicen todos los datos disponibles, lo que podría ser crucial en zonas nubladas.

Duplicación e interacción del analista en comparación con la automatización

En el caso de la estimación de la deforestación, muchos estudios con interacción del analista han generado estimaciones exactas de la cobertura de bosques nacionales. Según los informes, la exactitud ha superado el 90 % (p.ej., Harper *et al.*, 2007; Lindquist *et al.*, 2008; Evans *et al.*, 2010; Longépé *et al.*, 2011). La exactitud de las clases de uso de la tierra, tales como la agricultura y los pastizales, tiende a ser menor y generalmente oscila entre el 70 y el 80 %. Estas estimaciones se suelen derivar de estudios locales en vez de estudios de carácter nacional.

En los últimos años se han realizado investigaciones útiles sobre los métodos automatizados para procesar datos satelitales. Dichas investigaciones se han centrado principalmente en los pasos previos al procesamiento, aunque en algunos casos se ha incluido el paso de clasificación. Por ejemplo, se han publicado enfoques que usan la automatización en una serie de pasos previos al procesamiento, luego se hace la estimación de cambio utilizando un conjunto de reglas o mediante una clasificación digital asistida por la interpretación del analista (Souza *et al.*, 2005; Masek *et al.*, 2008). En cambio, el atlas de deforestación de la República Democrática del Congo que se acaba de publicar fue hecho con un enfoque completamente automatizado (Hansen *et al.*, 2008a).

Hay una amplia gama de opciones para aplicar la automatización en el paso de clasificación. Por ejemplo, los algoritmos de clasificación podrían basarse en las reglas, en forma de umbrales aplicados a los datos de reflectancia o datos derivados en otras unidades. En este caso, la validez de los resultados dependería en gran medida de la coerción precisa y de la estandarización de las imágenes en el paso previo al procesamiento. Además, se usa un número relativamente limitado de reglas, la suposición de que se pueden lograr resultados precisos en áreas de gran tamaño, usando pocas reglas, debe ser válida. Con frecuencia esto no es así y por lo tanto se deberían hacer pruebas. Por ejemplo, puede que estas reglas sólo arrojen resultados precisos en ciertas partes del área de estudio en las que se distinguen con mayor facilidad los tipos de cobertura con datos espectrales, o para clases que son distintas espectralmente hablando, tales como el agua oscura o clara, la nieve, y las áreas claras no forestales tales como áreas

urbanas y arena expuesta y suelo. Si bien sobre la base de estas reglas se podría lograr una rápida estimación de la cobertura y el cambio para la mayor parte del país, resultaría necesario estimar las áreas o las clases restantes mediante otros enfoques.

Otro ejemplo de automatizar el paso de clasificación podría ser automatizar el proceso de recopilación de datos en sitios de capacitación. Hansen *et al.* (2008b) tomaron muestras de un mapa de vegetación existente para generar puntos de capacitación. Si bien los resultados son alentadores, deberían realizarse más pruebas en otras regiones, sobre todo en las regiones montañosas o en las áreas con vegetación más caducifolia. Un enfoque relacionado consiste en usar los métodos tradicionales de interpretación para identificar los sitios de capacitación por clases, como se suele hacer en un enfoque de clasificación supervisada. En todo el país se podría construir un gran conjunto de sitios de capacitación o en varios estratos. Una vez que se confirme que ese conjunto se puede utilizar para producir un mapa exacto, se podrían aplicar los mismos sitios de capacitación a nuevos datos en años posteriores para calcular las nuevas firmas de clase espectral que se usarán con las nuevas imágenes. Se podría automatizar el enfoque una vez que se defina el conjunto de datos nacionales de capacitación, ya que se debe dar cuenta de las variaciones espectrales en los nuevos datos cada vez que estos nuevos datos se combinen con la ubicación de los sitios de capacitación.

Los países podrían automatizar todos menos los últimos los pasos de la metodología para estimar los cambios. Otro enfoque podría consistir en la automatización de la estimación de los cambios más conspicuos (p.ej., la tala de bosques), al tiempo que se aplica un método menos automatizado para estimar los cambios menos conspicuos. Alternativamente, un país podría optar por monitorear ciertas áreas de su territorio que son más apropiadas para el monitoreo automatizado, tales como las áreas con topografía modesta y cobertura de nubes. Las áreas más difíciles podrían requerir una interacción más directa del analista para obtener resultados exactos. El hecho de que la comunidad científica se valga de un gran número de enfoques demuestra que no hay una única opción y que los países deberían evaluar las opciones por sí mismos. Al hacerlo, deberían buscar un equilibrio óptimo entre la exactitud de las estimaciones finales, la duplicidad de la metodología y el costo.

Procesamiento posterior

El procesamiento posterior se refiere a cualquier paso llevado a cabo después del paso de clasificación y los pasos requeridos de procesamiento posterior variarán dependiendo del enfoque de clasificación y de los atributos que se buscan en el producto del mapa final que se usa para calcular las áreas de las categorías.

Si la metodología de clasificación incluyó la creación de subclases incluidas en las clases finales que se buscan, esto debería hacerse primero. Cada clase en el archivo de resultado digital de la clasificación tiene un número asignado, y la combinación se puede lograr recodificando los valores de todas las subclases a un valor que represente la clase final. Si no se llevó a cabo una clasificación de dos fechas, se debería aplicar el siguiente paso a las dos clasificaciones para crear un mapa de cambio de dos fechas. Se deberían recodificar los valores de clasificación de ambas fechas para formar la base de un mapa final de clase que registre las categorías de cambio y persistencia. Sin embargo, obsérvese que la sección previa recomienda estimar directamente el cambio de las imágenes multitemporales. Con la detección directa de cambios, que arroja una clasificación de dos fechas, las clasificaciones de resultados ya tendrán valores que representen las clases de cambios y de persistencia y, por lo tanto, no será necesario el paso de recodificación. Además, los errores que están presentes en cada clasificación de una sola fecha se combinarían en el resultado de clasificación combinada.

Después de recodificar los valores de clase final, suele ser aconsejable filtrar parte del producto. Normalmente se filtra por dos razones. Primero, para eliminar los pequeños errores relacionados con la microtopografía y otros efectos locales que producen un patrón con puntos de células de matriz clasificadas erróneamente y, segundo, para eliminar las áreas más pequeñas que una UMM o que el tamaño mínimo de área en una clasificación de clase nacional. Obsérvese que usamos el término célula en vez de pixel al referirnos a los resultados de clasificación en vez de a las imágenes espectrales. Algunos métodos de clasificación tienen una mayor tendencia a producir estos errores que otros, pero son artefactos comunes que se deberían eliminar.

Normalmente se usan dos tipos generales de filtros y se pueden utilizar en secuencia. Los “filtros locales” se basan en los valores de clase (en una ventana de tres por tres) alrededor de una célula central. Un tipo común es un filtro de mayoría local, en la que la célula central se reasigna al valor más común de la célula de la ventana. Esto no sólo elimina el patrón con puntos, sino también suaviza los bordes dentados, lo que puede ser aconsejables o no. Esto es imperceptible en el caso de las ventanas pequeñas, tales como las ventanas de tres por tres. El segundo tipo de filtro es el “filtro de tamiz”. En este, se identifican áreas de células con el mismo valor y se eliminan las áreas más pequeñas que el tamaño definido por el usuario. Como se mencionó anteriormente, esto es útil porque el producto final puede tener una UMM definida que se ajuste a la definición nacional de bosque del país.

Cálculo de las tasas de cambio

Hay varios factores que se deben abordar detenidamente al calcular las tasas de cambio. Primero, puede que las imágenes fuente no sean exactamente del inicio y el fin del horizonte temporal del reporte, sobre todo cuando la cobertura nubosa limita la cobertura de imágenes ópticas. Por ejemplo, muchos estudios que reportan cambios en cinco o diez años usan imágenes que están a uno o dos años de la fecha específica. En este caso, se deberían dividir las áreas de estudio en áreas en las que los pares de imágenes que representan el principio y el final tienen distintas longitudes de tiempo que las separan. Por ejemplo, en el caso de un estudio hecho entre el 2000 y el 2010, una parte del análisis se puede basar en imágenes del 2001 y el 2009, mientras que otra, en imágenes de 1999 y 2011. Estas áreas se deberían definir y registrar con la diferencia de ocho y doce años en las fechas y las tasas de cambio se deberían calcular con respecto a cada área con una diferencia dada, y con respecto a cada estrato forestal. En este caso, habría una entrada correspondiente a cada estrato forestal que experimenta cambios entre la diferencia de ocho años, y habría una entrada correspondiente a cada estrato forestal que experimenta cambios entre la diferencia de doce años. Esto permite una extrapolación temporal en cada área en cada estrato, en este caso a un periodo de diez años.

También se deben abordar las lagunas de datos, resultado de la cobertura nubosa u otras razones. Si el reporte se hace en unidades de porcentaje, se debería tomar en cuenta si el área de muestreo, que puede ser la gran mayoría del área de estudio, es representativa de toda el área de estudio. Si el reporte se hace en unidades absolutas, es necesaria la extrapolación. Esto podría justificar otra estratificación, a fin de que las tasas porcentuales no se extrapolen a áreas muy diferentes, y, por lo tanto, no estén bien representadas por aquellas en las que hay datos. Tras extrapolar las tasas porcentuales, se pueden convertir las tasas a valores absolutos haciendo una combinación con el área forestal al principio del periodo de reporte. En este paso, se pueden combinar los datos de cambio con los datos de los estratos forestales, a fin de reportar los cambios de cada estrato forestal.

Tercero, si no se analizó un periodo de un solo año, el reporte debería abarcar la tasa total de todo el periodo de tiempo, no en unidades por-año. En el ejemplo anterior de 2000-2010, si el objetivo es reportar en unidades de porcentaje por año, se debe aplicar una corrección. Esto se calcula sobre la base de las áreas en la fecha inicial y final:

$$\text{Tasa anual de cambio} = \left[\left(\frac{\text{área } t_2}{\text{área } t_1} \right)^{\frac{1}{(\text{fecha } t_2 - \text{fecha } t_1)}} \right] - 1$$

en donde t_1 y t_2 son el principio y el final del periodo de tiempo del estudio, en años (Puyravaud, 2003).

Evaluación de exactitud

La incertidumbre es el error en una estimación particular, en este caso la estimación de un área de cambio a lo largo del tiempo. La exactitud es igual a uno menos el valor de error, y, por lo tanto, la evaluación de la exactitud también se refiere a la evaluación del error o la incertidumbre. Hacer una evaluación de exactitud de un mapa temático representa un componente muy importante del proceso. Una evaluación de exactitud permite que se estimen los errores en el mapa y se cuantifique la incertidumbre, dando así una explicación adicional de los resultados y dándoles validez a estos. Los elementos principales de la evaluación de exactitud son la matriz de error, o la matriz de confusión, y las estadísticas asociadas (Congalton, 1991). La matriz de error se genera comparando los resultados de clasificación con datos de referencia. Las estadísticas incluyen exactitud general y la exactitud del productor y del usuario en cada clase del producto. También se puede calcular el coeficiente Kappa, pero muchos artículos resaltan las limitaciones de esta estadística (Olofsson *et al.*, 2012; Pontius y Milliones, 2011; Foody, 2002).

En el ejemplo de matriz de error del Cuadro 5.3, las columnas contienen usos verificados de la tierra y las filas contienen usos estimados de la clasificación. Los valores que se ubican a lo largo de la diagonal representan el número de píxeles clasificados correctamente, mientras que los números que no se ubican en las diagonales son errores de omisión y comisión. La exactitud general es la sección del número total de píxeles mapeados correctamente.

La exactitud del productor indica la frecuencia con la que un píxel se asigna correctamente a una clase específica. Esta estadística se basa en los errores de omisión, es decir, en la frecuencia con la que un píxel se omitió incorrectamente de una clase. La exactitud del usuario indica la frecuencia con la que un píxel se asignó incorrectamente a una clase específica. Esto se basa en los errores de comisión, es decir, la frecuencia con la que un píxel se incluyó incorrectamente en una clase. En el ejemplo de la tabla, la exactitud del productor correspondiente en el bosque degradado es: $100 \times 1890/2040 = 92,6 \%$. La exactitud del usuario en la misma clase es: $100 \times 1,890/2000 = 94,5 \%$.

		Referencia			Total de mapa
		Bosque	Bosque degradado	No bosque	
Mapa del uso de la tierra	Bosque	9880	90	30	10 000
	Bosque degradado	70	1890	40	2000
	No bosque	10	60	3930	4000
	Total de referencia	9960	2040	4000	16 000

Exactitud del productor (%)		Exactitud del usuario (%)	
Bosque	99,2	Bosque	98,8

Bosque degradado	92,6	Bosque degradado	94,5
No bosque	98,3	No bosque	98,3

Cuadro 5.1: Ejemplo de una matriz de error y la exactitud general resultante. En este caso hipotético, los totales de uso de la tierra son los mismos que en el tiempo de inicio del Cuadro 5.1

Tanto las matrices de cambio de uso de la tierra y de error son formatos comunes para reportar los cambios en el uso de la tierra y los errores. Si bien son distintas al formato de tabla de reporte del IPCC, que figura al final del Capítulo 3, los datos se pueden transferir con facilidad. Resulta útil calcular estas estadísticas de los distintos estratos en un área de estudio, ya que esto permite combinar los errores con errores en las reservas de carbono de cada estrato. También permite evaluar dónde es más necesario hacer mejoras, es decir, qué partes del inventario de GEI contribuyen los mayores errores en las estimaciones de GEI y cuáles de ellas deberían revisarse como parte del ACP.

Los ejemplos en el Cuadro 5.3 demuestran la estimación de errores en la cobertura del uso de la tierra en una sola fecha. Sin embargo, los países deben estimar los errores en las estimaciones de cambio de uso de la tierra a lo largo del tiempo. Las evaluaciones de exactitud de fechas múltiples usan la información disponible de dos fechas. Un enfoque apropiado es el uso de la interpretación visual minuciosa y verificada de una combinación de imágenes de muy alta resolución, junto con imágenes usadas en la clasificación. Se pueden utilizar múltiples intérpretes y la regularidad de su interpretación puede ser indicio de confianza en el grupo de datos de validación. Las inspecciones de campo pueden ser útiles en las clases más difíciles de interpretar incluso con imágenes de muy alta resolución, tales como el bosque degradado. Una vez que se estima el error de un área particular de cambio, o DA, se puede combinar con el error del cambio en las reservas por área de unidad estimada mediante los inventarios de campo. Esto se puede hacer utilizando la Ecuación 5.2.2 de la “Orientación de la buena práctica del UTCUTS” de la CMNUCC (2003) para la propagación de errores, similar a la aplicación descrita en el Capítulo 4.

Las estimaciones de área ajustadas por errores, como las que se describen en Olofsson *et al.* (2013), usan la información disponible en la matriz, junto con el área total de cada clase identificada en el mapa, para generar errores ajustados por área basados en el área proporcional de cada clase y en errores identificados en la matriz. También se pueden extender las matrices de error y las evaluaciones de exactitud para brindar información del intervalo de confianza (IC). Esto es especialmente importante ya que cuantifica la confianza de una clase particular, brindando así información adicional muy relevante. Olofsson *et al.* (2013) describen un proceso para crear límites de IC basándose en las matrices de error ajustadas por área.

Además, es importante dar cuenta de las clases excepcionales cuando se desarrolla una estrategia de validación (Stehman *et al.*, 2010). Este tipo de diseño de muestreo proporcional garantiza que haya un muestreo adecuado en clases escasas pero cruciales, tales como la deforestación. El diseño de muestreo podría concentrarse en áreas de deforestación identificadas en el mapa, y se podría usar una estratificación para categorizar áreas de altas probabilidades de cambio y pocas probabilidades de cambio. Posteriormente se podría concentrar el muestro proporcional en estos estratos para garantizar que cada clase esté representada adecuadamente en el análisis de validación.

La Sección 3.7 de la GFOI MGD (GFOI, 2013) brinda directrices sobre los aspectos a tomar en cuenta en la generación de datos de referencia y al llevar a cabo una evaluación de exactitud. Entre esos se incluye: 1) garantizar que los datos de referencia sean de mayor calidad que los datos del mapa (p.ej., se suele considerar que la interpretación de manual que hace un analista de una imagen es de mayor calidad que un algoritmo de clasificación automática); y 2) combinar fuentes de datos de referencia (p.ej.,

sondeos aéreos y de campo que pueden ser eficaces en función de los costos si los recursos son limitados). La GFOI MGD también brinda dos enfoques a modo de ejemplo para llevar a cabo una evaluación de exactitud y una estimación de área: un enfoque estratificado y uno basado en modelos.

Olofsson *et al.* (2014) también presentan una revisión general de las recomendaciones de buenas prácticas para producir estimaciones transparentes y exactas “con rigurosidad científica” y estimaciones de área basadas en los cambios entre el tiempo uno y el tiempo dos. Detallan tres pasos separados que deberían darse para completar una evaluación de exactitud, incluidos: 1) el diseño de muestreo, que responde la pregunta: “¿En qué área de subgrupo sería apropiado hacer un muestreo?”, entendiendo que no es posible evaluar la totalidad del mapa; 2) el diseño de respuesta, que responde la pregunta: “¿Concuerdan los mapas con los datos de referencia?”; y 3) análisis, que responde la pregunta: “¿Cómo calcular la exactitud y cuantificar la incertidumbre?”.

Las evaluación de exactitud es muy importante, y los programas de MRV deberían trabajar con expertos en estadística para desarrollar estrategias de muestreo de validación y combinar la información de incertidumbres en los DA con las de los FE. Esto llevará a una estimación más sólida de las incertidumbres generales en los GEI estimados.

5.5 ÁREAS DE INVESTIGACIÓN EMERGENTES

Algunas áreas de investigación especialmente activa de ayuda para las actividades de REDD+ incluyen: el mapeo y monitoreo de la degradación; el uso de otras fuentes de datos obtenidos por sensores remotos, tales como RADAR, en el monitoreo; y el creciente uso del muestreo de campo para facilitar la validación de productos de sensores remotos.

Mapeo y monitoreo de la degradación

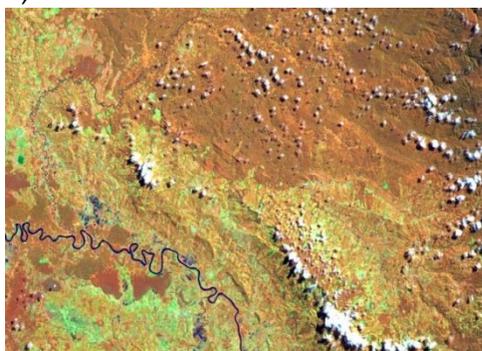
La degradación forestal contribuye de forma considerable a las emisiones de GEI procedentes del cambio en el uso de la tierra (Nepstad *et al.*, 1999; Souza y Roberts, 2005; Stickler *et al.*, 2009; GOF-C-GOLD, 2012; Hirata *et al.*; 2012), con estimaciones que oscilan entre el 20 y el 50 % del total de las emisiones de GEI procedentes del uso de la tierra sobre grandes regiones (ver, por ejemplo, Houghton y Hacker, 1999; Lambin *et al.*, 2003; Asner *et al.*, 2005). El mapeo y monitoreo de la degradación forestal continúa suponiendo un reto. Existen numerosas definiciones de degradación forestal, lo que aumenta la complejidad del mapeo y monitoreo de la misma. La definición del IPCC de degradación forestal se facilita en la Sección 5.2.1. En cambio, la GOF-C-GOLD (2012) presenta una variedad de actividades humanas que dan como resultado la degradación forestal, y que incluyen la tala selectiva, incendios forestales (dosel y subdosel) y la recolección de leña. La GOF-C-GOLD (2012) enumera una variedad de actividades humanas que dan como resultado la degradación forestal que incluyen la tala selectiva, incendios forestales (dosel y subdosel) y la recolección de leña. Estas diversas actividades pueden requerir diferentes enfoques de monitoreo, y cada país debería tratar de entender las implicaciones y la utilidad de los distintos enfoques. Los lectores deberían consultar también las secciones pertinentes tanto del Manual de referencia de la GOF-C-GOLD como la GFOI MGD.

El uso de otras fuentes de datos obtenidos por sensores remotos en el mapeo y monitoreo forestal

Una segunda área de investigación de ayuda para las actividades de REDD+ es el uso de otras fuentes de datos obtenidos por sensores remotos, tales como RADAR, para mapear y monitorear la extensión y características del bosque, la deforestación y la degradación. Numerosas características hacen que RADAR sea una atractiva fuente de información para tales aplicaciones. En primer lugar, porque los

sensores RADAR operan en longitudes de onda (generalmente de 1 cm a 1 m) del espectro EM más largas que, por ejemplo, los sensores ópticos, además, son capaces de penetrar las nubes y son, por tanto, útiles para el monitoreo en áreas con nubosidad constante. Asimismo, ya que las señales recibidas por el sensor están menos afectadas por las condiciones atmosféricas, y las propiedades de la radiación emitida por los sensores activos están controladas y son muy conocidas, las imágenes de RADAR se pueden comparar directamente a lo largo del tiempo. Las señales RADAR son también sensibles a las propiedades geométricas de un bosque, así que proporcionan información sobre la distribución de la biomasa por encima del suelo. La Figura 5.11 ilustra un detalle de una imagen Landsat comparada con una imagen satelital PALSAR correspondiente a una zona de San Martín (Perú).

A)



B)



Figura 5.11: Ejemplos de imágenes Landsat y RADAR de Perú. Las observaciones de la tierra en los datos Landsat en A) están parcialmente tapadas por las nubes, mientras que en la imagen PALSAR en B) no hay nubes. Aunque las variaciones del brillo en ambas se ven afectadas por el terreno, esto es más evidente en la última

A continuación se proporciona una breve introducción a una selección de conceptos sobre sensores remotos activos. Tales conceptos adicionales son fundamentales para comprender las características básicas de los datos de los sensores remotos activos. RADAR mide la distancia entre un objeto en el suelo y el sensor basándose en la intensidad de las ondas de radio que se transmiten como pulsos de los haces de microondas, dirigidos por una antena, que iluminan una banda de la superficie terrestre (franja). La intensidad de la señal retrodispersada al receptor procedente de esta energía transmitida se registra como la señal de retorno, y la distancia se calcula basándose en el tiempo transcurrido durante un viaje completo de ida y vuelta de la señal RADAR. El siguiente pulso transmitido ilumina la siguiente banda del terreno a lo largo de la franja y se crea una imagen bidimensional (cada pulso define una línea).

Al igual que con los sensores ópticos, los sensores RADAR se aprovechan de las diferentes bandas de longitud de onda. Una banda de longitud de onda más corta, como una banda X ($\lambda = 3$ cm) tan solo puede traspasar la capa superior de un dosel forestal, mientras que una banda P ($\lambda = 23$ cm) puede traspasar hojas y ramas pequeñas proporcionando así información sobre las ramas grandes y los troncos de los árboles. De este modo, las imágenes en banda P obtenidas son importantes para medir la biomasa de la vegetación y las reservas de carbono por encima del suelo.

La rugosidad de la superficie, la forma geométrica y las propiedades dieléctricas de un objeto también influyen en la información recibida por el sensor RADAR. La rugosidad de la superficie es un término relativo que depende de la longitud de onda de RADAR. Por ejemplo, objetos pequeños como hojas y ramitas se consideran rugosos para longitudes de onda de RADAR cortas, pero lisos para longitudes de onda de RADAR más largas como la banda P de RADAR. Las masas de agua suelen ser relativamente lisas, con la mayor parte de la energía reflejada lejos del RADAR, mientras que los árboles y otro tipo de vegetación son rugosos, lo que provoca retrodispersión, así que tienen una apariencia brillante en una imagen de RADAR.

La diferencia en la intensidad de las señales de retorno de RADAR procedentes de dos superficies de igual rugosidad es una indicación de la diferencia de sus propiedades dieléctricas, y estas están considerablemente influidas por su humedad. Por ejemplo, el brillo de zonas cubiertas por suelo desnudo puede variar dependiendo de la rugosidad y de la concentración de humedad del suelo. Para los tipos de suelo con una rugosidad parecida, la superficie con una mayor concentración de humedad aparecerá más brillante.

Una característica fundamental de los datos de RADAR que no se encuentra en la mayoría de los datos ópticos es la polarización, que se describe más adelante. Además de la polarización, numerosas

características adicionales distinguen los instrumentos y datos de RADAR de sus equivalentes ópticos y es útil entenderlos. Estas incluyen fase, observación lateral, RADAR de apertura sintética (SAR, por sus siglas en inglés), interferometría y polarimetría; que se resumen en el Recuadro 5.5.

La polarización se refiere a la orientación del campo eléctrico con respecto a la dirección de propagación. En los sensores remotos activos, el campo eléctrico de la radiación resultante tiene una orientación preferida. La polarización lineal es la que se usa con más frecuencia en los sensores remotos RADAR donde un campo eléctrico radiado se orienta horizontalmente (polarización horizontal) o verticalmente (polarización vertical) con respecto a la dirección de propagación, como se muestra en la Figura 5.12. Un sensor capaz de transmitir ondas polarizadas o bien horizontalmente (H) o bien verticalmente (V) y de recibir ambos tipos de ondas dará como resultado las cuatro imágenes polarizadas siguientes:

- HH: transmisión horizontal y recepción horizontal;
- VV: transmisión vertical y recepción vertical;
- HV: transmisión horizontal y recepción vertical; y
- VH: transmisión vertical y recepción horizontal.

Algunos satélites espaciales, incluidos RADARSAT-1 y ERS-1/2, sólo tienen polarización simple (RADARSAT-1 con HH y ERS-1/2 con VV), mientras que otros satélites, incluidos RADARSAT-2, ENVISAT y ALOS/PALSAR, adquieren datos con los cuatro tipos de polarización (“quad-pol”) o con dos tipos de polarización (“dual-pol”). El análisis de más adelante incluye una selección de aplicaciones de SAR que son relevantes para las actividades de REDD+.

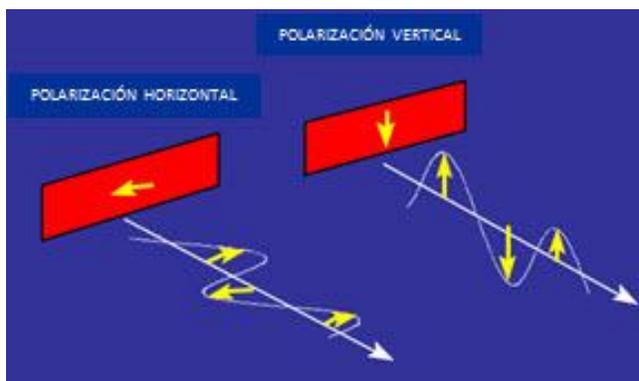


Figura 5.12: Polarización horizontal y vertical

Recuadro 5.5. Otras características de RADAR

La **fase** describe la ventaja, o desfase, de una onda electromagnética con respecto a una onda de referencia de la misma longitud de onda, y se expresa en grados. 360 grados representa un ciclo completo y, por tanto, una onda que tiene un desfase de un cuarto de una longitud de onda por detrás de la referencia tiene una fase de 90 grados.

La mayoría de los sensores RADAR son también instrumentos **laterales**, a diferencia de muchos sensores ópticos que adquieren imágenes en nadir (es decir, observando una ubicación justo debajo del sensor). Esta capacidad de dirección transversal, denominada RADAR de visión lateral (SLR, por sus siglas en inglés), introduce una variedad de distorsiones geométricas, que incluyen escorzo, inversión del relieve y sombras, que requieren una corrección completa o parcial.

Algunos sistemas de sensores remotos RADAR, tales como sistemas de **RADAR de apertura sintética (SAR)**, son capaces de lograr una resolución relativamente alta sin usar una gran antena. Generalmente, distribuidores de datos procesan los datos procedentes de dichos sistemas en datos a nivel de observación única con formato complejo, y dichos datos contienen tanto la información sobre la amplitud como sobre la fase, así como una gama de productos derivados que normalmente son geocodificados, ortorrectificados y corregidos radiométricamente. Y, aunque es posible que persistan algunas de las distorsiones geométricas y radiométricas debidas al relieve del terreno, estos productos procesados y derivados son por lo general más adecuados para usar en el mapeo. Una de las distorsiones que puede persistir es el ruido Speckle. El ruido Speckle de SAR causa variación pixel a pixel en la intensidad incluso sobre un área homogénea; esta textura granulada “sal y pimienta” degrada la calidad de la imagen y complica la interpretación. El ruido Speckle se puede reducir calculando el promedio de la respuesta de retrodispersión en un pixel, aunque de hecho, esto puede reducir la resolución, o aplicando filtros de suavizado.

Otro concepto relevante de RADAR es la **interferometría SAR**. Como se menciona en la introducción, una imagen de RADAR contiene información sobre la intensidad de la señal y la fase. Si dos imágenes de SAR se han obtenido sobre la misma zona desde posiciones de la antena muy cercanas, las distintas longitudes del recorrido desde estas posiciones hasta el objeto sobre la superficie terrestre causan las diferencias en la fase. La diferencia del recorrido está geoméricamente relacionada con la distancia entre dos antenas y la altura del terreno. Dado que las posiciones de la antena se conocen con precisión, las diferencias de fase observadas se pueden usar para inferir información tridimensional sobre la altura del terreno. Esta técnica se conoce como interferometría SAR.

Por último, la **polarimetría SAR** es un concepto importante de RADAR. Como se analizó anteriormente, se pueden medir más parámetros a partir de RADAR polarimétrico comparado con RADAR de un solo canal. Las distintas bandas de polarización tal vez contengan información única y complementaria sobre el objeto de la superficie. Por ejemplo, una señal que rebota desde el tronco de un árbol hasta la superficie del suelo es probable que muestre cambios de polarización distintos a los de las señales que retornan directamente desde el suelo. Los objetos de la superficie que producen dispersión están orientados verticalmente y muestran una alta retrodispersión en imágenes polarizadas verticalmente y una baja retrodispersión en imágenes polarizadas horizontalmente. Una información tan singular es importante para discriminar los diferentes tipos de cobertura de la tierra.

Aplicaciones de SAR

Cada vez hay más aplicaciones en el uso de los datos SAR para el mapeo forestal, la medición y el monitoreo de la biomasa por encima del suelo (BES) y la ampliación de mediciones de BES basadas en el suelo. Numerosos estudios han probado el potencial de combinar canales de RADAR de diferentes frecuencias y polarización para el monitoreo de la deforestación. Por ejemplo, Saatchi *et al.* (1997) usaron datos SIR-C para mapear los tipos de cobertura de la tierra y monitorear la deforestación en los trópicos, con un énfasis sobre la descripción de numerosas prácticas de despeje y las características de

la regeneración forestal. También mapearon zonas y fragmentación forestales y encontraron útiles estos datos para delinear áreas con distintos grados de alteración forestal. Rignot *et al.* (1997) compararon los datos SIR-C con Landsat MT en un emplazamiento de pruebas en Rondonia, Brasil; a pesar de que el Landsat MT ofreció una clasificación más exacta de la extensión de la deforestación, el uso combinado de Landsat e imágenes de RADAR mejoraron aún más la exactitud del mapeo.

La reciente disponibilidad sistemática de los datos SAR completamente polarimétricos procedentes de ALOS-PALSAR, ENVISAT y RADARSAT-2 ha conducido a una investigación más extensa de la clasificación de la cobertura de la tierra usando imágenes SAR. Walker *et al.* (2010) evaluaron la capacidad de los datos PALSAR y Landsat para clasificar y mapear la cobertura forestal en el nacimiento del río Xingú en el sudeste de la Amazonia, y produjeron una exactitud total del 92 y 94 % con PALSAR y Landsat, respectivamente, para la clasificación forestal frente a la no forestal. Además encontraron un alto grado de similitudes espaciales entre los mapas derivados de PALSAR, de Landsat y de los datos existentes del *Projeto De Estimativa De Desflorestamento da Amazoni* (PRODES), el programa brasileño de monitoreo de la deforestación del Amazonas.

Además de la información polarimétrica, la interferometría polarimétrica SAR (PolInSar, por sus siglas en inglés) proporciona información interferométrica (ver el Recuadro 5.5) relacionada con la estructura y la complejidad de los objetos observados. Se pueden lograr importantes mejoras en la clasificación de los cambios en la cobertura de la tierra combinando la información de la polarimetría y la de la interferometría polarimétrica (Shimoni *et al.*, 2009). Además, se ha demostrado que la fusión de la información espacial y de la información de la textura derivada de varias polarizaciones de SAR mejora los resultados de la clasificación (Borghys *et al.*, 2006).

Los datos SAR también se están analizando para ampliar la BES en tierra y monitorear cambios a gran escala (Lu, 2006; Mitchard *et al.*, 2009). Estos datos son sensibles a las propiedades geométricas del bosque y están directamente relacionados con las mediciones de BES. Sin embargo, esta sensibilidad parece saturarse a niveles de biomasa de alrededor de 100 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) (Imhoff *et al.*, 2000) y aproximadamente el 81 % de los bosques del mundo están por encima de este límite de saturación (Nelson *et al.*, 2007).

Recientemente, los datos procedentes de PALSAR, el primer satélite SAR con longitud de onda larga (banda L, 25 cm) con la capacidad de recopilar respuestas de polarización cruzada, ha ofrecido unas estimaciones mejoradas de BES con poca o ninguna saturación, hasta 250-300 $t\ ha^{-1}$ basándose en la capacidad de polarización cruzada del sensor para explotar la intensa respuesta de los objetos tridimensionales, como árboles, comparada con la del suelo desnudo. Mitchard *et al.* (2011) usaron los datos de retrodispersión de RADAR de apertura sintética de banda L desde 1996 y los datos JERS-1 y PALSAR desde 2007 para producir mapas de biomasa de una zona de ecotono bosque-sabana en el centro de Camerún, caracterizada por deforestación y degradación a pequeña escala. Descubrieron que los datos RADAR detectaban cambios en una clase general de BES en las zonas de transición entre bosque y sabana con una exactitud del 95 %. De manera parecida, Ryan *et al.* (2012) generaron mapas de biomasa y cambios en las reservas de carbono con incertidumbres conocidas usando imágenes PALSAR en una zona del centro de Mozambique ofreciendo mapas con la exactitud suficiente para posibilitar cambios en las reservas de carbono forestal de un mínimo de 12 $t\ ha^{-1}$ durante 3 años, con una confianza para ser detectado del 95 %. Mitchard *et al.* (2012) usaron una combinación de datos PALSAR, datos de LiDAR espacial (GLAS ICESAT) y datos en tierra para mapear BES en el Parque Nacional de Lopé en Gabón.

A pesar de que estos resultados destacan el potencial de imágenes espaciales RADAR para estimar el área y la biomasa forestales, existen numerosas limitaciones y la historia del uso de los datos SAR para

clasificar la cobertura de la tierra sigue siendo relativamente reciente. Una limitación considerable de la utilización y análisis de los datos SAR es la dificultad que implica la interpretación de la retrodispersión RADAR si se compara con los datos del espectro óptico (Saatchi *et al.*, 2000). La presencia del efecto topográfico y del ruido Speckle complica el análisis visual y digital de las imágenes de RADAR, y es posible que zonas complejas con una mayor abundancia de bosques secundarios ofrezcan exactitudes significativamente más bajas. Se necesitan también evaluaciones complementarias para valorar la utilidad de fuentes de datos RADAR más nuevas en áreas montañosas.

La incertidumbre relacionada con la continuidad de los datos a largo plazo de los sistemas de RADAR espacial podría resultar ser también un factor limitante para el monitoreo forestal. PALSAR y ENVISAT, por ejemplo, que antes proporcionaban datos totalmente polarimétricos de banda L, ya no recopilan información. Sin embargo, la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA, por sus siglas en inglés) lanzó ALOS-PALSAR-2 en mayo de 2014 y este instrumento contiene de nuevo una banda L.

Por último, aunque la variedad de técnicas avanzadas de procesamiento SAR que se aprovechan de la disponibilidad de la información multipolarimétrica está evolucionando, y se están elaborando métodos de clasificación basados en la descomposición polarimétrica, los datos SAR generalmente ofrecen resultados menos robustos que los datos Landsat para la clasificación bosque/no bosque en la mayoría de estudios.

Uso del muestreo de campo para facilitar la validación de productos de sensores remotos

Los datos de sensores remotos, en concreto las imágenes satelitales de alta resolución, RADAR y varios tipos de LiDAR resultan prometedores para mapear de forma más eficiente las reservas de biomasa. Esto es especialmente interesante en los paisajes a menudo vastos y de difícil acceso contemplados bajo la mayoría de los sistemas de MRV nacionales y jurisdiccionales de los programas de REDD+. Probablemente no proporcionarán datos de biomasa más exactos para los emplazamientos de parcelas que aquellos derivados de los datos de campo, y cualquier estimación de biomasa basada en RADAR o LiDAR tendrá que ser calibrada usando datos de campo y parcela. Sin embargo, donde se puedan calibrar relaciones significativas, estos datos pueden ser valiosos para extrapolar estimaciones de campo sobre regiones más grandes, especialmente zonas remotas a las que resulta costoso acceder. Aunque estos enfoques son prometedores, todavía están en proceso de perfeccionamiento.

Los mismos procedimientos de medición de campo y QA/QC descritos en el Capítulo 4 también son relevantes en la recopilación de datos verídicos del suelo. No obstante, las estrategias de muestreo difieren de los datos proporcionados por sensores remotos, ya que el objetivo no es producir una estimación de campo sino ser modelo de predicciones, sobre una extensión espacial más amplia. Por tanto, no es necesario que los datos referentes al suelo usados para construir modelos de predicción para los datos proporcionados por sensores remotos sean muestreados estricta y uniformemente. Aunque lo ideal sería que la muestra estuviera bien distribuida por toda la zona a la que se aplicará el modelo. La muestra debería lograr una distribución uniforme en líneas generales por toda la serie de condiciones de los datos proporcionados por sensores remotos, tales como el intervalo de valores de reflectancia. Esto se puede lograr por medio del muestreo aleatorio ponderado, de otros enfoques de muestreo con probabilidades desiguales o de un enfoque de muestreo sistemático. Nótese que estos diseños preferidos de la muestra exigen que los datos de sensores remotos se tengan ya a mano, y proporcionen un intervalo equivalente de valores espectrales dentro del área muestreada por medio de sensores remotos, para optimizar el diseño.

Las parcelas grandes y de área fija son las más adecuadas para generar datos referentes al suelo con el fin de compararlos con los datos proporcionados por sensores remotos. Las parcelas más grandes

facilitan la alineación de muestras del suelo e imágenes de sensores remotos y reducen el impacto de la inexactitud GPS (Mascaro *et al.*, 2011). Con LiDAR aéreo se recomienda usar diseños en parcelas circulares y un tamaño mínimo de parcela de 0,2 ha para reducir los errores de modelo (Zolkos *et al.*, 2013). Las mediciones de campo deberían además recopilarse tan próximas a la fecha de adquisición de la imagen de los sensores remotos como sea posible.

Las mediciones de campo de las parcelas pueden calibrar y validar los modelos de predicción. En este último caso, una muestra de parcelas se mide y reserva y, tras la construcción y aplicación del modelo, se usa para evaluar la exactitud de los valores previstos en diferentes escalas. Este enfoque para evaluar la incertidumbre del modelo está recomendado porque es directo y refleja el resultado general de muchas fuentes posibles de error que, de otro modo, tendrían que ser cuantificadas de manera independiente y luego propagadas.

5.6 REFERENCIAS

- Asner, G.P., D.E. Knapp, E.N. Broadbent, P.J.C. Oliveira, M. Keller and J.N. Silva. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480–482.
- Baccini, A., S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P. S. A. Beck, R. Dubayah, M. A. Friedl, S. Samanta and R. A. Houghton. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2: 182-185.
- Borghys, D., Y. Yvinec, C. Perneela, A. Pizurica and W. Philips. 2006. Supervised feature-based classification of multi-channel SAR images, *Pattern Recognition Letters* 27: 252–258.
- Clark, M.L., D.B. Clark, and D.A. Roberts. 2004. Small-footprint lidar estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape. *Remote Sensing of Environment* 91(1): 68-89.
- Congalton, R.G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Evans, T.L., M. Costa, K. Telmer and T.S.F. Silva. 2010. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to Map Land-cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal. *IEEE Journal of Selected Topics in applied Earth Observation and Remote Sensing* 3: 560-570.
- FAO. 2006. Choosing a Forest Definition for the Clean Development Mechanism. *Forests and Climate Change Working Paper* 4. <http://www.fao.org/forestry/media/11280/1/0/>
- Foody, G.M. 2002. Status of land-cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing Environment* 80: 185-201.
- Friedl, M.A., C.E. Brodley, and A.H. Strahler. 1999. Maximizing Land Cover Classification Accuracies Produced by Decision Trees at Continental to Global Scales, *Transaction on Geosciences and Earth Observation* 37(2): 969-977.
- Friedl, M.A., D. Sulla-Menashe, B. Tan, A. Schneider, N. Ramankutty, A. Sibley, and X. Huang. 2010. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets, *Remote Sensing of Environment* 114: 168-182.
- Gislason, P.O., J.A. Benediktsson and J.R. Sveinsson. 2006. Random Forests for land cover classification, *Pattern Recognition Letters* 27: 294-300.
- GFOI. 2013. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative. Group on Earth Observations. Geneva, Switzerland.
- GOFC-GOLD. 2013. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. *GOFC-GOLD Report version COP19-2* (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands). Available at <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php>.
- Hansen M.C., R.S DeFries, J.R.G. Townshend and R. Sohlberg. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach, *International Journal of Remote Sensing* 21(6): 1331-1364.

Hansen M.C., D.P. Roy, E.J. Lindquist, B. Adusei, C.O. Justice and A. Altstatt. 2008a. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing Environment* 112: 2495–251.

Hansen, M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, T.R. Loveland, J.R.G. Townshend, R.S. DeFries, K.W. Pittman, F. Stolle, M.K. Steininger, M. Carroll, and C. Dimiceli. 2008b. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified using multi-temporal and multi-resolution remotely sensed data, *PNAS* 105: 9439-9444.

Harper, G.J., M.K. Steininger, C.J. Tucker, D.J. and F. Hawkins. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation* 34: 325-333.

Hirata Y., G. Takao, T. Sato, J. Toriyama, eds. 2012. REDD-plus Cookbook. REDD Research and Development Center, Forestry and Forest Products Research Institute Japan, 156pp. ISBN 978-4-905304-15-9.

Imhoff, M.L., P. Johnson, W. Holford, J. Hyer, L. May, W. Lawrence, P. Harcombe. 2000. BioSAR™: an inexpensive airborne VHF multiband SAR system for vegetation biomass measurement. *Transaction on Geosciences and Earth Observation* 38: 1458–1463.

IPCC. 2003. Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types. In: Penman, J., M. Gytarsky, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner. IPCC-IGES, Kanagawa (eds.).

IPCC GPG-LULUCF. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: IGES. Japan.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H.S., L. Buendia K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe, eds. Published: IGES Japan.

Jiang, D., Y. Huang, D. Zhuang, Y. Zhu, X. Xu and H. Ren. 2012. A Simple Semi-Automatic Approach for Land Cover Classification from Multispectral Remote Sensing Imagery. *PLoS ONE* 7(9): e45889. doi:10.1371/journal.pone.0045889

Lambin, E.F., H.J. Geist, and E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review Environment Resource* 28: 205–41.

Lefsky, M.A., W.B. Cohen, G.G. Parker and D.J. Harding. 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience* 52(1) 19-30.

Lindquist E.J., M.C. Hansen, D.P. Roy and C.O. Justice. 2008. The suitability of decadal image data sets for mapping tropical forest cover change in the Democratic Republic of Congo: implications for the global land survey. *International Journal of Remote Sensing* 29: 7269-7275.

Lim, K., P. Treitz, M. Wulder, B. St-Onge and M. Flood. 2003. LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress In Physical Geography* 27(1): 88-106.

Longépé, N., P. Rakwatin, O. Isoguchi, M. Shimada, Y. Uryu, and K. Yulianto. 2011. Assessment of ALOS PALSAR 50 m orthorectified FBD Data for Regional Land-cover Classification by Support Vector Machines. *IEEE Transaction on Geosciences and Earth Observation* 49: 2135-2050.

Lu, D. S. 2006. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27: 1297-1328.

- Mascaro, J., M. Detto, G.P. Asner. And H.C. Muller-Landau. 2011. Evaluating uncertainty in mapping forest carbon with airborne LiDAR. *Remote Sensing Environment* 115: 3770–3774.
- Masek, J. G., Huang, C., Wolfe, R., Cohen, W., Hall, F., Kutler, J., and Nelson, P. (2008). North American Forest Disturbance Mapped from a Decadal Landsat Record. *Remote Sensing Environment* 112: 2914–2926.
- Mather, P. 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. Wiley & Sons. Chicester, England.
- Mitchard, E. T. A., S. S. Saatchi, I.H. Woodhouse, G. Nangendo, N.S. Ribeiro, M. Williams, C.M. Ryan, S.L. Lewis, T.R. Feldpausch and P. Meir. 2009. Using satellite RADAR backscatter to predict aboveground woody biomass: A consistent relationship across four different African landscapes. *Geophysical Research Letters* 36.
- Mitchard, E. T. A., S.S. Saatchi, I. Woodhouse, T. Feldpausch, S. Lewis, B. Sonk'é, C. Rowland, and P. Meir. 2011. Measuring biomass changes due to woody encroachment and deforestation/degradation in a forest-savanna boundary region of central Africa using multi-temporal L-band RADAR backscatter. *Remote Sensing Environment* 115: 2861–2873.
- Mitchard, E. T. A., S.S. Saatchi, L.J.T. White, K.A. Abernethy, K.J. Jeffery, S.T. Lewis, M. Collins, M.A. Lefsky, M.E. Leal, I.H. Woodhouse P. and Meir. 2012. Mapping tropical forest biomass with radar and spaceborne LiDAR in Lopé National Park, Gabon: overcoming problems of high biomass and persistent cloud. *Biogeoscience* 9: 179-191.
- Nelson R.F., P. Hyde, P. Johnson, B. Emessiene, M.L. Imhoff, R. Campbell, and W. Edwards 2007. Investigating RADAR-LiDAR synergy in a North Carolina pine forest. *Remote Sensing Environment* 110: 98–108
- Nelson, R., J. Boudreau, T.G. Gregoire, H. Margolis, E. Naesset, T. Gobakken and G. Stahl. 2009. Estimating Quebec provincial forest resources using ICESat/GLAS, *Canadian Journal of Forestry Research* 39: 862-881.
- Nepstad, D. C., A. Verissimo, A. Alencar, C. Nobre, E. Lima, P. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, P. Moutinho, E. Mendoza, M. Cochrane and V. Brooks. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508.
- Olofsson, P., G.M. Foody, S.V. Stehman and C.E. Woodcock 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimate. *Remote Sensing Environment* 129: 122-131.
- Olofsson, P., G.M. Foody, M. Herold, S.V. Stehman, C.E. Woodcock, M. Wulder 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing Environment* 148: 45-57.
- Pal, M. and P.M. Mather. 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing Environment* 86: 554-565.
- Pal, M. 2005. Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing* 26(1): 217-222.
- Puyravaud, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177: 593-596.
- Rignot, E., W.A. Salas and D.L. Skole. 1997. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging RADAR and thematic mapper data. *Remote Sensing Environment* 59: 167-179.

- Rodriguez-Galiano, V.F., B. Ghimire, E. Pardo-Iguzquiza, M. Chica-Olmo, and R.G. Congalton. 2012. Incorporating the Downscaled Landsat TM Thermal Band in Land-cover Classification using Random Forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 78(2): 129-137.
- Rogan, J., J. Miller, D. Stow, J. Franklin, L. Levian and C. Fischer 2003. Land-Cover Change Monitoring with Classification Trees Using Landsat TM and Ancillary Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69(7): 793-804.
- Ryan, S.M, T. Hill, E. Woollen, C. Ghee, E. Mitchard, G. Cassells, J. Grace, I.H. Woodhouse and M. Williams. 2012. Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using RADAR imagery. *Global Change Biology* 18(1): 243-257.
- Saatchi, S., J.V. Soares and D.S. Alves. 1997. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery. *Remote Sensing Environment* 59: 191–202.
- Saatchi, S. and M. Moghaddam. 2000. Estimation of crown and stem water content and biomass of boreal forest using polarimetric SAR imagery. *IEEE Transaction on Geosciences and Earth Observation* 38(2): 697-709.
- Saatchi, S., D. Agosti, K. Alger, J. Delabie, and J. Musinsky. 2001. Examining Fragmentation and Loss of Primary Forest in the Southern Bahian Atlantic Forest with RADAR Imagery. *Conservation Biology* 15(4): 867-875.
- Saatchi, S., N.L. Harris, S. Brown, M. Lefsky, E.T.A. Mitchard, W. Salas, B.R. Zutta, W. Buermann, S.L. Lewis, S. Hagen, S. Petrova, L. White, M. Silman and A. Morel. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS* 108(24): 9899-9904.
- Shimoni, M., D. Borghys, R. Heremans, C. Perneel and M. Acheroy. 2009. Fusion of Pol SAR and PolInSAR data for land-cover classification. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation* 11: 169-180.
- Song, C., C.E. Woodcock, K.C. Seto, M.P. Lenney and S.A. Macomber. 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing Environment* 75: 230-244.
- Souza, C. M., Jr. and D. Roberts. 2005. Mapping forest degradation in the Amazon region with Ikonos images. *International Journal of Remote Sensing* 26(3): 425-429.
- Souza, C., D.A. Roberts and M.A. Cochrane. 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damages from selective logging and forest fires. *Remote Sensing Environment* 98: 329-343.
- Stehman, S., P. Olofsson, C. Woodcock, M. Friedl, A. Sibley, J. Newell, D. Sulla-Menashe and M. Herold 2010. Designing a reference validation database for accuracy assessment of land cover. *Accuracy 2010 Symposium*, July 20-23, Leicester, UK.
- Stickler, C.M., D.C. Nepstad, M.T. Coe, D.G. Mcgrath, H.O. Rodrigues, W.S. Walker, B.S. Soares-Filho and E. Davidson. 2009. The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region. *Global Change Biology* 15: 2803–2824.
- Walker, W.S., M.S. Claudia, J.M. Kellndorfer, K.M. Kirsch and D.C. Nepstad. 2010. Large-Area Classification and Mapping of Forest and Land-cover in the Brazilian Amazon: A Comparative Analysis of ALOS/PALSAR and Landsat Data Sources. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 3: 594-604.

UN-REDD Programme, National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities, 26-27 October 2012, Brazzaville, Republic of Congo.

Zolkos, S. G., S.J. Goetz and R. Dubayah. 2013. A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. *Remote Sensing Environment* 128: 289-298.

5.7 FUENTES DE DATOS SATELITALES COMUNES PARA MONITOREAR EL USO DEL SUELO

Sensor	Satélite - Agencia	Amplitud de franja	Resolución	Ciclo de repetición	Adquisiciones sistemáticas	Estado operativo	Aplicaciones de monitoreo
Landsat 7 ETM+	Landsat 7 - NASA	165 km	15 m en modo pancromático 30 m en modo multiespectral 60 m en modo térmico	16-21 días	Sí	Sí, con lagunas por desactivación del corrector de líneas escaneadas (SLC-off)	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos
Landsat 8 OLI	LDCM - NASA	185 km	15 m en modo pancromático 30 m en modo multiespectral 100 m en modo térmico	16-21 días	Sí	Sí	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos
ASTER	Terra - NASA	60 km	15 m en modo multiespectral	Varía	No	Parcial (sin canales infrarrojos de onda corta [SWIR, por sus siglas en inglés])	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos
SPOT 5	CNES	60 km	20 m en modo multiespectral 5 m en modo pancromático (2,5 m en interpolado)	Varía	No	Sí	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos
SPOT 6	Airbus Defensa y Espacio	60 km	6 m en modo multiespectral 1,5 m en modo pancromático	Varía	No	Sí	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos
CCD	CBERS-2B - INPE	113 km	20 m en modo multiespectral	26 días	Sí	Sí	deforestación, invasiones
HRC	CBERS-2B - INPE	27 km	2,7 m en modo pancromático	26 días	Sí	Sí	vías de arrastre, buques pesqueros ilegales
MODIS	Terra/Aqua - NASA	2330 km	250 m en modo visible 500 m en modo multiespectral 1 km en modo térmico	4 veces al día (diurno/nocturno)	Sí	Sí	incendios, deforestación a gran escala

AWIFS	Resourcesat-1	730 km	56 m	5 días	Sí	Sí	deforestación a gran escala
IKONOS	IKONOS - GeoEye	11,3 km en el nadir	4 m en modo multiespectral (4) 1 m en modo pancromático (1)	Varía	No	Sí	vías de arrastre, huecos en el dosel forestal, buques pesqueros ilegales/vehículos de explotación forestal
Pleiades 1a y 1b	Airbus Defensa y Espacio	20 km	50 cm en modo pancromático 2 m en modo espectral	Varía	No	Sí	vías de arrastre, huecos en el dosel forestal, pistas forestales
GeoEye-1	GeoEye-1 - GeoEye	Varía	0,4 m en modo pancromático (1) (remuestreada a 0,5 m) 1,65 m en modo multiespectral (4)	Varía	No	Sí	vías de arrastre, huecos en el dosel forestal, buques pesqueros ilegales/vehículos de explotación forestal
QuickBird	QuickBird - DigitalGlobe	Varía	0,6 m en modo pancromático (1) 2,4 m en modo multiespectral (4)	Varía	No	Sí	vías de arrastre, huecos en el dosel forestal, buques pesqueros ilegales/vehículos de explotación forestal
Constelación RapidEye	BlackBridge	77 km	6,5 m en modo multiespectral	1-5 días	No	Sí	deforestación, invasiones, carreteras, vías de arrastre
WorldView-2	WorldView-2 DigitalGlobe	Varía	0,5 m en modo pancromático 1,8 m en modo multiespectral	Varía	No	Sí	vías de arrastre, huecos en el dosel forestal, buques pesqueros ilegales/vehículos de explotación forestal
RADARSAT-2	CSA	Varía	8 m en polarización cuádruple con resolución fina 25 m en polarización cuádruple con resolución estándar 100 m en modo ancho	24 días	Varía	Sí	deforestación, carreteras, aguaderos

ASAR	ENVISAT-ESA	Varía	30 m en modo polarización 150 m en modo amplitud de franja 1 km en modo monitoreo global	36 días	Varía	No	deforestación
PALSAR	PALSAR-JAXA	Varía	9 m en polarización simple 19 m en polarización dual 30 m en polarización cuádruple 100 m en modo <i>Scan SAR</i>	45 días	Sí - todos los modos No - polarización cuádruple	No	deforestación, carreteras, aguaderos
WorldView-3	WorldView - DigitalGlobe	13,1 km	0,31 m en modo pancromático (1) 1,24 m en modo multiespectral (8) 3,7 m en modo SWIR (8)	< 1 día	No	Sí	vías de arrastre, huecos en el dosel forestal, buques pesqueros ilegales/vehículos de explotación forestal
PALSAR-2	PALSAR-JAXA	Varía	1-3 m en modo <i>Spotlight</i> 3-10 m en modo <i>Stripmap</i> 100 m en modo <i>Scan SAR</i>	15 días	Varía	Sí	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos

Misiones futuras

Sensor	Satélite - Agencia	Amplitud de franja	Resolución	Ciclo de repetición	Adquisiciones sistemáticas	Estado operativo	Aplicaciones de monitoreo
SPOT 7	Airbus Defensa y Espacio	60 km	1,5 m en modo pancromático (1) 6,0 m en modo multiespectral (4)		No	Lanzado en junio de 2014, calibrándose	deforestación, invasiones, carreteras, aguaderos
Sentinel-2 A/B	ESA	290 km	10 m/20 m/60 m	Cada 5 días (cuando tanto)		Lanzamiento previsto	deforestación

				el 2A como el 2B sean lanzados)		verano de 2014 (2A), luego (2B)	
VIIRS	NPV - NASA	3000 km	750 m	2 veces al día	Sí	recientemente lanzado, calibrándose	incendios

5.8 RECURSOS SELECTOS

Online guides and other materials

United Nations Space Science and Technology:

<http://www.unoosa.org/oosa/en/SAP/centres/index.html>

Systems for World Surveillance, Inc.

<http://www.rsat.com/tutorials.html>

Biodiversity Informatics Facility

http://biodiversityinformatics.amnh.org/index.php?section_id=17

European Space Agency Earthnet

<http://earth.eo.esa.int/download/eoedu/Earthnet-website-material/to-access-from-Earthnet/>

NASA Earth Observatory

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

Software

EXELIS: ENVI

<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI.aspx>

INTERGRAPH: ERDAS Imagine

<http://geospatial.intergraph.com/products/ERDASIMAGINE/ERDASIMAGINE/Details.aspx>

PCI Geomatics

<http://www.pcigeomatics.com/>

American Museum of Natural History (AMNH) Biodiversity Informatics Facility, Open source GIS and remote sensing software

http://biodiversityinformatics.amnh.org/index.php?section_id=33&content_id=138

GRASS GIS

<http://grass.fbk.eu>

IDRISI GIS and Image Processing Software

<http://www.clarklabs.org/products/idrisi.cfm>

Quantum GIS

<http://www.qgis.org/en/site/>

Random forests Software

http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_software.htm

Rulequest data mining tools; See5 classification software

<http://www.rulequest.com/see5-info.html>

R statistical language

<http://www.r-project.org/>

Open source

Alaska Satellite Facility - Map Ready, SAR Tool Kit

http://www.asf.alaska.edu/downloads/software_tools

ESA – polsarpro (Polarmetric SAR Data Processing and Educational Tool)

<http://earth.eo.esa.int/polsarpro/>

NEST – Next ESA SAR toolbox

<http://nest.array.ca/web/nest/release-4B-1.1>

RAT – Radar Tools

<http://radartools.berlios.de/>

Data access

USGS Earth Resources Observation and Science Center (EROS)

<http://glovis.usgs.gov/>

(Landsat Archive, Global Land Survey (GLS) data, as well as various ASTER and MODIS products)

USGS LandsatLook Viewer

<http://landsatlook.usgs.gov/>

(Enables searching of both LandsatLook images & Level I Landsat data)

National Research Institute (INPE) of Brazil

<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

(Range of Landsat and CBERS imagery, as well as various MODIS products)

Global Land Survey (GLS) 2005 products: Global Land-cover Facility

<http://www.land-cover.org/data/>

(Range of data sources including the Landsat archive and selected imagery for a range of instruments including ASTER, Ikonos, Quickbird, Orbview, and MODIS)

RapidEye Catalog

<http://eyefind.rapideye.com>

(Access to the BlackBridge RapidEye image archive)

SPOT Catalog

<http://catalog.spotimage.com/PageSearch.aspx?language=UK>

(Access to the SPOT satellite archive)

Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)

<http://imsweb.aster.ersdac.or.jp/ims/cgi-bin/dprSearchMapByMenu.pl>

(Access to the ASTER imagery archive)

Global tree-cover loss and biomass data

Global Landsat-based estimates of tree-cover loss from 2000 to 2012, produced by the University of Maryland and distributed by Google.

<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Two maps of global forest biomass, with a 1-km resolution, based on a suite of satellite data inputs, calibrated with plot data. These may be useful for national stratification of field sampling of biomass in a MRV system.

A. Baccini, S.J. Goetz, W.S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P.S.A. Beck, R. Dubayah, M.A. Friedl, S. Samanta and R. A. Houghton. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*

<http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE1354>

Pantropical National Level Carbon Stock Dataset

http://www.whrc.org/mapping/pantropical/carbon_dataset.html

Saatchi S, N.L. Harris, S. Brown, M. Lefsky, E.T. Mitchard, W. Salas, B.R. Zutta, W. Buermann, S.L. Lewis, S. Hagen, S. Petrova, L. White, M. Silman and A. Morel. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 14;108(24):9899-904. <http://carbon.jpl.nasa.gov/>

Tutorials

The remote sensing tutorial: Federation of American Scientists (FAS)

<http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>

General remote sensing: Canada Centre of Remote Sensing

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/about/organization/organization-structure/canada-centre-for-remote-sensing/11740>

USGS Change-tracking tool

<http://pubs.usgs.gov/gip/133/>

NASA fundamentals of remote sensing

http://gcmd.nasa.gov/records/remote_sensing_tutorial-00.html

Introduction to remote sensing - Virtual Hawaii

http://satftp.soest.hawaii.edu/space/hawaii/vfts/oahu/rem_sens_ex/rsex.spectral.1.html

NOAA's Satellite and Information Service: Learning About Satellites and Remote Sensing

<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/education.html>

An introduction to remote sensing

CSIRO

<http://www.cmis.csiro.au/rsm/intro/>

An introduction to radar remote sensing: Canada Centre of Remote Sensing

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/radar-remote/2122>

Radar polarimetry: Canada Centre of Remote Sensing

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/radar/1893>

ESA's RADAR Tutorial

http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Courses/

ESA's Synthetic Aperture radar: Land applications tutorial

http://earth.eo.esa.int/download/eoedu/Earthnet-website-material/to-access-from-Earthnet/2008_Bilko-SAR-Land-Applications-Tutorial/sar_land_apps_1_theory.pdf

6.0 REPORTE Y VERIFICACIÓN: ELEMENTOS Y ORIENTACIONES

Autores: Ángel Parra y Stelios Pasmajoglou

6.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo analiza las consideraciones fundamentales sobre el reporte y la verificación para la reducción de las emisiones de la deforestación y la degradación forestal, así como el papel de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y el fomento de las reservas forestales de carbono (REDD+). La Sección 3.3 de este manual, *Inventario y pasos para el reporte*, resume la secuencia de pasos necesarios para generar un inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI). Este capítulo está relacionado con las actividades resaltadas en la página siguiente.

PASO 0: Establecer arreglos institucionales.



PASO 1: Estimar las áreas de tierra en cada categoría de uso de la tierra mediante la estratificación y otros métodos, por el periodo requerido, para representar las áreas en la OBP-UTCUTS.



PASO 2: Realizar el análisis de categorías principales (ACP) para las categorías relevantes. Dentro de las categorías principales, evaluar los gases significativos que no sean CO₂ y los reservas de carbono y dar prioridad en términos de elección metodológica.



PASO 3: Diseñar un inventario de carbono forestal para generar factores de emisión (FE), si se usa el método de ganancias y pérdidas; asegurar que los requisitos en cuanto a factores de emisión y absorción se cumplan. Los FE representan coeficientes que cuantifican las emisiones/absorciones por unidad de área.



PASO 4: Generar datos de la actividad (DA); según el nivel (*tier*) identificado. Los DA representan la extensión en la que tiene lugar una actividad humana.



PASO 5: Cuantificar las emisiones y absorciones; estimar la incertidumbre en cada estimación. Las estimaciones de emisiones y absorciones representan el producto de DA por las FE asociadas.



PASO 6: Reportar las estimaciones de emisiones y absorciones; usar tablas de reporte y hojas de cálculo cuando sea apropiado. Documentar y archivar la información usada para crear las estimaciones nacionales de emisiones y absorciones sigue instrucciones específicas de acuerdo a cada categoría/cambios del uso de la tierra, depósito de carbono y fuente que no sea CO₂.



PASO 7: Verificar e implementar comprobaciones del control de calidad, incluyendo la revisión de expertos externos de las estimaciones de emisiones de conformidad con la directriz específica según cada categoría de uso de la tierra, depósito o gas que no sea CO₂.

En lo que respecta al reporte, este capítulo proporciona una perspectiva general de los requisitos y mecanismos, tales como las hojas de trabajo para el reporte y los cuadros incluidos en la Orientación sobre las buenas prácticas para el uso de la tierra, el cambio del uso de la tierra y la silvicultura (OBP-UTCUTS) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), y de las opciones informáticas disponibles para facilitar el reporte. En cuanto a la verificación, en este capítulo se describen las disposiciones fundamentales de las decisiones adoptadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y analiza los enfoques de verificación incluidos en la OBP-UTCUTS.

Según las decisiones adoptadas por los gobiernos que trabajan bajo la guía de la Conferencia de las Partes (COP) de la CMNUCC, los países en desarrollo²⁸ que estén dispuestos a desarrollar actividades de REDD+ tendrán que establecer un Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) para evaluar las emisiones y absorciones antropogénicas de GEI relacionadas procedentes de fuentes y sumideros de los bosques (CMNUCC, 2010). Ya que las medidas de los programas REDD+ deberían estar basadas en resultados, los países en desarrollo tendrán que demostrar que están reduciendo las emisiones procedentes de la deforestación en comparación con un escenario de línea de base (*business-as-usual scenario*), también conocido como Nivel de referencia de emisiones forestales o Nivel de referencia forestal (NRE/NR).

En cualquier sistema internacional en el que esté previsto un procedimiento de contabilidad, que incluye la CMNUCC y su protocolo de Kioto, y probablemente algún mecanismo futuro de los programas REDD+, la información reportada en el inventario de GEI de un país representa la base para evaluar el desempeño de ese país, esto, al compararlo con sus compromisos o con los NRE/NR. También podría constituir la base para fijar eventuales incentivos o multas. Según la CMNUCC, la información reportada en los inventarios de GEI proporcionan los medios por los cuales la comunidad internacional puede monitorear el progreso conseguido por los países con respecto a cumplir con sus compromisos y lograr los objetivos últimos de la Convención.

La calidad de los inventarios de GEI depende no solo de la robustez de la ciencia que respalda las metodologías y de la credibilidad asociada a las estimaciones, sino también de la forma en que se recopila y presenta la información. La información debe estar bien documentada, ser transparente y concordar con los requisitos y protocolos específicos de reporte (p. ej., aquellos según la CMNUCC) y con las directrices incluidas en procesos voluntarios o regulados.

6.2 REPORTE

El reporte para los programas REDD+ se puede definir como el proceso utilizado para traducir la información obtenida de las mediciones o del monitoreo (por ejemplo, la información generada por un inventario forestal de carbono y un análisis de cambio de uso de la tierra) a un formato acordado, como el marco para el reporte de la CMNUCC. Abarca la suma total de emisiones de GEI que se han evitado como resultado de la reducción de la deforestación y degradación forestal, así como la suma total de absorciones de GEI como resultado de la conservación forestal y de las actividades de mejora de las reservas de carbono. En función de la actividad específica, otra información reportada puede incluir los datos sobre áreas forestales afectadas, las metodologías empleadas, los factores de emisiones utilizados, el impacto sobre los factores de la deforestación, la eficacia de las mediciones implementadas, los recursos financieros necesarios o usados, o la aplicación de los procedimientos de aseguramiento de

²⁸ En esta sección, se usarán los términos “países desarrollados” y “países en desarrollo” como sinónimos de los términos de la CMNUCC “Partes incluidas en el Anexo I” y “Partes no incluidas en el Anexo I”, respectivamente. No obstante, es posible que, en algunos casos, se usen los términos de la CMNUCC para citar con exactitud sus textos y requisitos.

calidad y control de calidad (QA/QC). La información reportada a menudo se usa para ayudar a mejorar la transparencia de las medidas y verificar las emisiones y absorciones reclamadas para distintas actividades.

Esta sección del manual analiza los requisitos de reporte para los programas REDD+ según las decisiones adoptadas por la COP de la CMNUCC. Primero, se ofrece un resumen de los requisitos generales de reporte según la CMNUCC. Le sigue un análisis de los formatos para reportar los NRE/NR y del reporte de información sobre la implementación de las actividades de REDD+ basadas en resultados.

6.2.1 Resumen de los requisitos de reporte según la CMNUCC

Según la CMNUCC, todos los países están obligados a proporcionar información relacionada con la implementación de la Convención, lo que incluye los inventarios nacionales de emisiones GEI por fuentes y absorciones antropogénicas por sumideros (ver el Recuadro 6.1). Para promover la provisión de información creíble y coherente, se han elaborado directrices específicas que detallan requisitos estandarizados de reporte. Estos son diferentes en cada país y tienen en cuenta sus aptitudes y capacidades específicas. Por ejemplo, los requisitos de reporte para los países desarrollados son más detallados y estrictos en cuanto a la cantidad de información proporcionada y la frecuencia del reporte.

La necesidad de estimaciones robustas y justificables de los programas REDD+ ha sido resaltada durante las negociaciones de la CMNUCC encaminadas al reconocimiento de que “las acciones basadas en resultados de los programas REDD+ deberían ser completamente medidas, reportadas y verificadas”²⁹ (CMNUCC, 2010) Dentro del proceso de la CMNUCC, los países en desarrollo pueden presentar información de las siguientes formas:

- En comunicaciones nacionales (CN);
- En la actualización bienal de informes (BUR, por sus siglas en inglés); y
- En el contexto de las medidas de mitigación adecuadas a cada país (NAMA).

En el Cuadro 6.1. se ofrece una comparación de los requisitos de reporte fundamentales de la CMNUCC para las CN y las BUR.

²⁹ Decisión 1/CP.16, párrafo 73. <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>.

Recuadro 6.1: Disposiciones generales de la Convención con respecto al reporte de información

El Artículo 4 (http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1362txt.php), Párrafo 1 (a), de la Convención establece la obligación para todos los países —teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus prioridades, objetivos y circunstancias específicas de desarrollo nacional y regional— de “elaborar, actualizar periódicamente, publicar y proveer a la Conferencia de las Partes [...] inventarios nacionales de emisiones procedentes de fuentes y absorciones antropogénicas procedentes de sumideros de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal, usando metodologías comparables que deberán ser acordadas por la COP”.

El Artículo 12 (http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1379.php) de la Convención exige que cada país comunique a la COP los siguientes elementos de información:

- (a) “Un inventario nacional de emisiones antropogénicas por fuentes y absorciones por sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, en la medida de sus posibilidades (de un país), usando metodologías comparables que deberán ser promovidas y acordadas por la Conferencia de las Partes”;
- (b) “Una descripción general de las medidas tomadas o concebidas por la Parte (el país) para implementar la Convención”; y
- (c) “Cualquier otra información que la Parte (el país) considere pertinente para el logro del objetivo de la Convención y apropiada para incluirla en su comunicación (del país), incluido, si es viable, material pertinente para los cálculos de las tendencias de las emisiones globales”.

La Convención especifica el marco temporal para las comunicaciones iniciales, pero no establece una frecuencia de presentación, que se determina por medio de decisiones de la COP.

Comunicaciones nacionales

Las comunicaciones nacionales de los países en desarrollo ofrecen información sobre: las acciones en curso y planeadas para abordar el cambio climático; las emisiones y absorciones de GEI; las medidas de adaptación y mitigación relacionadas con el cambio climático; el desarrollo sostenible; transferencias financieras y tecnológicas; y las actividades para el fomento de las capacidades. La preparación y entrega de las CN depende de la disponibilidad de recursos, tanto humanos como económicos, y de los arreglos institucionales implementados para este propósito.

Las directrices para la preparación de las CN de los países en desarrollo se adoptaron por primera vez en la COP 2 (Ginebra, 1996) y se revisaron posteriormente en la COP 8 (Nueva Delhi, 2002)³⁰. Para facilitar el uso de estas directrices, la Secretaría de la CMNUCC elaboró un manual de usuario³¹ y una guía de recursos, ambos disponibles en el sitio web de la CMNUCC.³²

³⁰ La última versión de las directrices de reporte se incluyen en el Anexo de la Decisión 17/CP.8. Para consultar el texto completo de estas directrices, ver: <http://unfccc.int/resource/docs/cop8/07a02.pdf#page=2>.

³¹ El manual está disponible en inglés, francés y español.

³² Sitio web de la CMNUCC: http://unfccc.int/resource/docs/publications/userman_nainc_en.pdf;
http://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide1.pdf;
http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_resource_guide2.pdf;
http://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide3.pdf;
http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_resource_guide4.pdf.

	Comunicaciones nacionales	Actualización bienal de informes
Frecuencia	Cada cuatro años.	Cada dos años (a partir de diciembre de 2014).
Formato	Copia en papel.	Electrónico.
Años cubiertos	2ª CN: 2000.	2010 (o años más recientes si hay información disponible) para la 1.ª BUR; las BUR posteriores deben cubrir un año natural que no preceda a la fecha de presentación en más de cuatro años; se recomiendan series cronológicas que se remonten a los años reportados en las CN anteriores.
Gases	CN y BUR: Obligatorios CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O; se recomiendan HFC, PFC y SF ₆ .	
Desglose sectorial	Solo son obligatorios los cuadros sinópticos.	Obligatorios los cuadros sinópticos; se recomiendan los cuadros del Anexo 3A.2 de la Orientación sobre las buenas prácticas para el UTCUTS del IPCC y los cuadros de reporte sectorial anexados en la Orientación del IPCC revisada en 1996.
Versión de las Directrices del IPCC	Obligatoria la Orientación del IPCC revisada en 1996; se recomienda la Orientación sobre las buenas prácticas (2000 y UTCUTS).	
Documentación	Necesaria para brindar información sobre los métodos utilizados.	Necesaria para brindar información sobre los métodos utilizados; se puede facilitar en un anexo técnico información complementaria o de apoyo, incluida la información específica para cada sector.

Cuadro 0.1: Resumen de los requisitos fundamentales de reporte de la CMNUCC para las CN y las BUR de los países en desarrollo

Aunque a los países en desarrollo se les exige que preparen su inventario de GEI usando la Orientación del IPCC revisada de 1996 (IPCC, 1996), se recomienda el uso de la Orientación sobre las buenas prácticas y manejo de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC (OBP 2000) (IPCC, 2000) y la OBP-UTCUTS. También se recomienda, aunque no es obligatorio, que se facilite información sobre las metodologías usadas para preparar las CN. El reporte de las estimaciones de emisiones y absorciones de GEI de todos los sectores se realiza usando un cuadro incluido en las directrices de reporte (reproducido en la Figura 6.1).

Categorías de fuentes y sumideros de gas de efecto invernadero	Emisiones de CO ₂ (Gg)	Absorciones de CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO (Gg)	NO _x (Gg)	COVDM (Gg)	SO ₂ (Gg)
Emisiones y absorciones nacionales totales	X	X	X	X	X	X	X	X
1. Energía	X	X	X	X	X	X	X	X
A. Quema de combustibles (enfoque sectorial)	X		X	X	X	X	X	X
1. Industrias energéticas	X		X	X	X	X	X	X
2. Industrias manufactureras y construcción	X		X	X	X	X	X	X
3. Transporte	X		X	X	X	X	X	X
4. Otros sectores	X		X	X	X	X	X	X
5. Otros (especificar)	X		X	X	X	X	X	X
B. Emisiones fugitivas de combustibles	X		X		X	X	X	X
1. Combustibles sólidos			X		X	X	X	X
2. Petróleo y gas natural			X		X	X	X	X
2. Procesos industriales	X	X	X	X	X	X	X	X
A. Productos minerales	X				X	X	X	X
B. Industria química	X		X	X	X	X	X	X
C. Producción de metales	X		X	X	X	X	X	X
D. Otros tipos de producción	X				X	X	X	X
E. Producción de halocarburos y hexafluoruro de azufre								
F. Consumo de halocarburos y hexafluoruro de azufre								
G. Otros (especificar)	X		X	X	X	X	X	X
3. Uso de disolventes y otros productos	X			X			X	
4. Agricultura			X	X	X	X	X	X
A. Fermentación entérica			X					
B. Uso del estiércol			X	X			X	
C. Cultivo de arroz			X				X	
D. Suelos agrícolas			X	X			X	
E. Quema prescrita de sabanas			X	X	X	X	X	
F. Quema de residuos agrícolas en el campo			X	X	X	X	X	
G. Otros (especificar)			X	X	X	X	X	
5. Cambio de uso de la tierra y silvicultura	X ^b	X ^b	X	X	X	X	X	X
A. Cambios en las reservas de biomasa forestal y leñosa de otro tipo	X ^b	X ^b						
B. Conversión de bosques y pastizales	X	X	X	X	X	X		
C. Abandono de tierras explotadas		X						
D. Emisiones y absorciones de CO ₂ del suelo	X ^b	X ^b						
E. Otros (especificar)	X	X	X	X	X	X		
6. Desechos			X	X	X	X	X	X
A. Eliminación de desechos sólidos en tierra			X		X		X	
B. Tratamiento de aguas residuales			X	X	X	X	X	
C. Incineración de desechos					X	X	X	X
D. Otros (especificar)			X	X	X	X	X	X
7. Otros (especificar)	X	X	X	X	X	X	X	X
Partidas pro memoria								
Combustibles del transporte internacional	X		X	X	X	X	X	X
Aéreo	X		X	X	X	X	X	X
Marítimo	X		X	X	X	X	X	X
Emisiones de CO₂ de biomasa	X							

Nota: No hay que rellenar las celdas sombreadas.

^a Los siguientes indicadores estándar deberían usarse, según corresponda, para las emisiones por fuentes y absorciones por sumideros de GEI: NO (no ocurre) para actividades o procesos que no ocurren para un gas o categoría de fuente y sumidero en particular en un país, NE (no estimado) para emisiones y absorciones existentes que no han sido estimadas, NA (no aplicable) para actividades en una categoría dada de fuente y sumidero que no tiene como consecuencia las emisiones o absorciones de un gas específico, IE (incluido en otro lugar) para emisiones y absorciones estimadas pero incluidas en otro lugar del inventario (las Partes deberían indicar dónde se han incluido las emisiones o absorciones), C (confidencial) para emisiones y absorciones que podrían conducir a la revelación de información confidencial.

^b No proporcionen una estimación tanto de las emisiones como de las absorciones de CO₂. Se deberían estimar las emisiones «netas» (emisiones - absorciones) de CO₂ y escribir una única cantidad ya sea en la columna de las emisiones de CO₂ o en la de absorciones, según corresponda. Nótese que, a efectos de reporte, el signo para las absorciones siempre es (-) y para las emisiones (+).

Figura 0-1: Reproducción del cuadro de reporte para las comunicaciones nacionales de países en desarrollo (fuente: <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop8/cp807a02s.pdf>)

Se debería tener en cuenta que las directrices de reporte de la CMNUCC revisadas se adoptaron en 2002, antes de la finalización de la OBP-UTCUTS (IPCC, 2003). Esto tuvo como consecuencia que los

países en desarrollo reportaran actividades relacionadas con los bosques en sus CN iniciales según las cuatro categorías de la Orientación del IPCC revisada de 1996 (Cambios en las reservas de biomasa forestal y leñosa de otro tipo; Conversión de bosques y praderas; Abandono de tierras explotadas; emisiones y absorciones de CO₂ procedentes de suelos). En sus primeras comunicaciones, todos los países en desarrollo siguieron esta estructura al reportar las emisiones y absorciones.

Para la preparación de las CN posteriores, la Secretaría de la CMNUCC proporciona capacitación que incluye información sobre cómo incorporar elementos de la OBP-UTCUTS en el proceso de inventario. Como resultado, los países en desarrollo han empezado a usar la OBP-UTCUTS. Esto ha facilitado la disposición de información más detallada.

Actualización bienal de informes

Como parte de los Acuerdos de Cancún de 2010 (Decisión 1/CP.16 [CMNUCC, 2010], desarrollados más a fondo por la Decisión 2/CP.17 [CMNUCC, 2011]), los países en desarrollo³³ están obligados a presentar BUR que contengan información sobre las emisiones y absorciones de GEI, así como información sobre las medidas de mitigación, y las necesidades y el apoyo que han recibido para la implementación de estas medidas. El acceso a esta información facilitará la evaluación de los resultados de las medidas de mitigación implementadas.

Las directrices de reporte para las BUR se incluyen en el Anexo III de la Decisión 2/CP.17 (CMNUCC, 2011). Concretamente para el UTCUTS, el párrafo 6 de estas directrices declara que “se recomienda a las Partes no incluidas en el Anexo I que añadan, según corresponda y en la medida de sus posibilidades, en la sección del inventario correspondiente a la actualización bienal de informes, los cuadros incluidos en el Anexo 3A.2 de la Orientación sobre las buenas prácticas para el UTCUTS del IPCC...”.

En este momento, los países en desarrollo están preparando sus BUR. Las primeras BUR están previstas para diciembre de 2014 y las posteriores para cada dos años (Decisión 2/CP.17). Las directrices para el reporte de información también se adoptaron para la preparación de las BUR. Estas incluyen proporcionar información sobre:

- Circunstancias nacionales y arreglos institucionales;
- Inventario nacional de GEI;
- Medidas de mitigación y sus efectos: Para cada medida de mitigación adecuada a cada país (NAMA), los países deben proporcionar información sobre la naturaleza de la medida, los objetivos de reducción y los indicadores de progreso, los supuestos y los métodos usados, el progreso de la implementación y la reducción estimada de emisiones, así como sobre sus arreglos nacionales para los sistemas de MRV; y
- Necesidades y ayuda recibidas en el ámbito económico, tecnológico y de fomento de las capacidades.

Medidas de mitigación adecuadas a cada país

También, como parte de los Acuerdos de Cancún (Decisión 1/CP.16 [CMNUCC, 2010]), los países en desarrollo habrán de tomar las NAMA para desviar sus emisiones relativas a las emisiones habituales en 2020 en el contexto del desarrollo sostenible. Las NAMA pueden ser financiadas por donantes externos o internacionales o por medio del uso de recursos nacionales. Las medidas con apoyo internacional se medirán, reportarán y verificarán de forma nacional y además serán objeto de medición, reporte y verificación (MRV) internacional, mientras que las medidas de mitigación con apoyo nacional se medirán, reportarán y verificarán de forma nacional.

³³ A los países menos desarrollados y a los pequeños estados insulares en desarrollo se les concede más flexibilidad.

El objetivo de las NAMA es servir como estrategia de mitigación para un país en desarrollo; los programas REDD+ podrían ser parte de la estrategia general de las NAMA de un país. Para que sean eficientes, suficientes y predecibles, los recursos financieros deberían proporcionar incentivos adecuados a los actores relevantes en el momento oportuno, haciendo que les merezca la pena cambiar su comportamiento actual y la forma de usar los recursos. Para ello, es muy importante un sistema de MRV de emisiones y absorciones relacionado con las medidas implementadas, y la piedra angular de dicho sistema es un inventario nacional de GEI fiable y preparado según los principios del IPCC (transparencia, coherencia, comparabilidad, exhaustividad y exactitud).

6.2.2 Orientación general para el reporte

El Marco de Varsovia para los programas REDD+ estableció modalidades para los sistemas nacionales de monitoreo forestal en la Decisión 11/CP.19. Según la disposición de esta decisión, los sistemas nacionales de monitoreo forestal deberían:

- Estar guiados por la dirección y orientación del IPCC más recientes, adoptadas o recomendadas por la COP (es decir, la OBP-UTCUTS); y
- Proporcionar datos e información transparentes, coherentes a largo plazo, idóneos para los sistemas de MRV, construidos a partir de sistemas existentes y, al mismo tiempo, flexibles y que permitan mejoras.

Las siguientes secciones analizan los requisitos de reporte específicos para los programas REDD+. En concreto, se facilitan las especificaciones de reporte para los NRE/NR (Decisión 12/CP.17), como resultado de la implementación de las actividades de REDD+ (Decisión 14/CP.19), y para las salvaguardas (Decisiones 12/CP.17 y 12/CP.19).

Reporte de los NRE/NR

Según la Decisión 12/CP.17, los NRE/NR son puntos de referencia para evaluar el desempeño de cada país al implementar las actividades de REDD+. Se expresan en toneladas de CO₂ equivalente (CO₂ Eq) por año y deben establecerse usando la OBP-UTCUTS. Los países deberían asegurar que sus NRE/NR son acordes con sus emisiones y absorciones de GEI relacionadas con bosques antropogénicos procedentes de fuentes y sumideros, respectivamente, como se incluyen en sus inventarios nacionales de GEI.

Se pueden elaborar NRE/NR subnacionales (que cubren un área forestal de menor tamaño que el total de su territorio nacional) como medida provisional mientras se realiza la transición a un NRE/NR nacional. Los NRE/NR se pueden actualizar periódicamente según corresponda, teniendo en cuenta nuevos conocimientos, nuevas tendencias y cualquier modificación del ámbito y de las metodologías.

El reporte de los NRE/NR es voluntario. No obstante, cuando los países decidan presentar información sobre un NRE/NR deben seguir las disposiciones del anexo de la Decisión 12/CP.17 (ver el Recuadro 6.2). La información presentada debe ser transparente, exhaustiva, acorde con la orientación acordada según la CMNUCC y exacta con el objetivo de permitir una evaluación técnica de los datos, metodologías y procedimientos usados en la construcción de un NRE/NR.

Las presentaciones de un país deben incluir información y razones de la elaboración de los NRE/NR, lo que incluye detalles sobre las circunstancias nacionales y, si se ajusta, detalles sobre cómo se tuvieron en cuenta las circunstancias nacionales, de acuerdo con las directrices incluidas en el anexo de la Decisión 12/CP.17 y con cualquier futura decisión tomada por la CMNUCC. En la presentación, un país también puede señalar áreas donde es necesaria una mejora técnica y áreas de fomento de las capacidades para la construcción de futuros NRE/NR.

La información relacionada con los NRE/NR se debería reportar tan pronto como un país haya recopilado todos los datos necesarios, mientras que el resto de información se debería proporcionar antes de que un país reciba el pago por sus actividades de REDD+ implementadas. Según lo acordado por los gobiernos (Decisión 13/CP.19), toda la información presentada será objeto de evaluación técnica.

Recuadro 6.2: Directrices para la presentación de información sobre los NRE/NR

La información que debe presentarse incluye:

La información que utilizaron las Partes al construir un NRE/NR, incluidos los datos históricos, de un modo exhaustivo y transparente;

Información transparente, exhaustiva, coherente y exacta, incluida la información metodológica utilizada en el momento de la construcción de los NRE/NR, lo que incluye, entre otras cosas y según corresponda, una descripción de las bases de datos, enfoques, métodos, modelos, si procede, y supuestos utilizados, una descripción de las políticas y planes pertinentes y una descripción de los cambios con respecto a la información presentada con anterioridad;

Los depósitos y gases, así como las actividades enumeradas en la Decisión 1/CP.16, párrafo 70, que hayan sido incluidos en los NRE/NR y las razones para omitir de la construcción de los NRE/NR un depósito o actividad, teniendo en cuenta que no deberían excluirse los depósitos o actividades significativos;

La definición de bosque usada en la construcción de los NRE/NR y, si procede, en el caso de que sea diferente a la definición de bosque usada en el inventario nacional de gas de efecto invernadero o en el reporte a otras organizaciones internacionales, una explicación de por qué y cómo se eligió la definición utilizada en la construcción de los NRE/NR.

Reporte de la implementación de las actividades de REDD+

El Marco de Varsovia para los programas REDD+ estableció en la Decisión 14/CP.19 los requisitos de reporte para los países en desarrollo que buscaran obtener y recibir pagos por las medidas de los programas REDD+ basadas en resultados. Concretamente, los países³⁴ (de forma voluntaria) deberían facilitar, en sus BUR, un anexo técnico que contenga la información enumerada en el Recuadro 6.3.

Las emisiones antropogénicas por fuentes relacionadas con bosques y absorciones por sumideros, las reservas forestales de carbono y los cambios en dichas reservas y en la superficie forestal, han de ser acordes con la OBP-UTCUTS y con cualquier orientación sobre los sistemas de MRV de las NAMA de los países en desarrollo. Los datos e información usados por los países en desarrollo para estimar las emisiones antropogénicas por fuentes relacionadas con bosques y absorciones por sumideros, las reservas forestales de carbono y los cambios en dichas reservas y en la superficie forestal deberían ser transparentes y coherentes a lo largo del tiempo y con los NRE/NR establecidos. Los resultados de la implementación de las actividades de REDD+ deberían compararse con los NRE/NR y expresarse en toneladas de CO₂ Eq por año.

³⁴ A los países menos desarrollados y a los pequeños estados insulares en desarrollo se les concede más flexibilidad.

Recuadro 6.3 Directrices sobre los elementos a incluir en el anexo técnico de una BUR

1. Informe resumido del reporte final que contiene los correspondientes NRE/NR evaluados, lo que incluye:
 - (a) El nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados expresados en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año (CO₂ Eq);
 - (b) La actividad o actividades mencionadas en la Decisión 1/CP.16, párrafo 70, incluidas en el nivel de referencia de emisiones forestales o nivel de referencia forestal;
 - (c) La superficie del territorio forestal cubierto;
 - (d) La fecha de la presentación del nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal y la fecha del reporte final de la evaluación técnica;
 - (e) El periodo (en años) del nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados.
2. Resultados, en toneladas de CO₂ Eq por año, acordes con el nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados.
3. Demostrar que las metodologías usadas para obtener los resultados mencionados en la Decisión 14/CP.19, párrafo 2, son acordes con las utilizadas para establecer el nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados.
4. Una descripción de los sistemas nacionales de monitoreo forestal y de las funciones y responsabilidades institucionales en la medición, reporte y verificación de los resultados.
5. Información necesaria que permita la reconstrucción de los resultados.
6. Una descripción de cómo se han tenido en cuenta los elementos incluidos en la Decisión 4/CP.15, párrafo 1(c) y (d).

Reporte de las salvaguardas

La Decisión 12/CP.17 ofrece directrices relacionadas con la disposición de información sobre cómo se abordan y respetan las salvaguardas (ver el Recuadro 6.4). En concreto, estipula que los sistemas que proporcionan información sobre cómo se abordan y respetan las salvaguardas deberían:

- Ser acordes con la orientación identificada en la Decisión 1/CP.16, apéndice I, párrafo 1;
- Ofrecer información transparente y coherente que sea accesible para todas las partes interesadas pertinentes y se actualice regularmente;
- Ser transparentes y flexibles para permitir mejoras a lo largo del tiempo;

- Brindar información sobre cómo se están abordando y respetando todas las salvaguardas mencionadas en el apéndice I de la Decisión I/CP.16;
- Ser dirigidos por los propios países e implementados a nivel nacional; y
- Construirse a partir de sistemas existentes, según corresponda.

También se acordó que los países en desarrollo que se comprometan con las actividades de REDD+ deberían ofrecer información resumida sobre cómo se están abordando y respetando todas las salvaguardas durante la implementación de las actividades. Este resumen debería proporcionarse periódicamente e incluirse en las comunicaciones nacionales, o en otros canales de comunicación aprobados por la COP.

Recuadro 6.4 Salvaguardas que deberían promoverse y apoyarse cuando se implementan actividades de REDD+

Las medidas complementan o son consistentes con los objetivos de los programas forestales nacionales y de convenciones y acuerdos internacionales relevantes.

Estructuras nacionales de gobierno forestal transparentes y eficaces, teniendo en cuenta la legislación y soberanía nacional.

Respeto por los conocimientos y derechos de los pueblos indígenas y miembros de las comunidades locales, para lo que se tendrán en cuenta las pertinentes obligaciones internacionales, circunstancias nacionales y leyes, y se tomará nota de que la Asamblea General de las Naciones Unidas ha adoptado la declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas.

La participación plena y efectiva de las partes interesadas pertinentes, en concreto los pueblos indígenas y las comunidades locales, en las medidas mencionadas en la Decisión I/CP.16, párrafos 70 y 72.

Las medidas son consistentes con la conservación de los bosques naturales y la diversidad biológica, y garantizan que las medidas mencionadas en la Decisión I/CP.16, párrafo 70, no se utilizan para la conversión de bosques naturales, sino para incentivar la protección y conservación de los bosques naturales y los servicios de sus ecosistemas y para fomentar otros beneficios sociales y ambientales.

Medidas para abordar los riesgos de reversiones de los procesos.

Medidas para reducir el desplazamiento de las emisiones.

La Decisión I2/CP.19 del Marco de Varsovia para los programas REDD+ reitera las disposiciones mencionadas anteriormente y además estipula que el resumen de la información mencionada anteriormente podría proporcionarse también, de forma voluntaria, por medio de la plataforma web que se encuentra en el sitio web de la CMNUCC.

6.2.3 Reporte de las disposiciones de la OBP-UTCUTS

Según la OBP-UTCUTS, la información debería reportarse en un inventario de emisiones y absorciones, el cual normalmente se divide en dos partes: cuadros de reporte y un reporte de inventario. La OBP-UTCUTS contiene hojas de trabajo que se pueden usar para realizar los cálculos exactos de emisiones y absorciones y se podrían incluir en el inventario para mejorar la transparencia.

Hojas de trabajo

Las hojas de trabajo de la OBP-UTCUTS se presentan en módulos distintos. Cada módulo corresponde a una categoría específica de uso de la tierra³⁵. Un módulo se divide en dos submódulos para diferenciar entre las tierras que continúan en la misma categoría de uso de la tierra y aquellas convertidas a otras categorías de uso de la tierra. Cada submódulo se divide a su vez en cuatro grupos de hojas de trabajo que abarcan: biomasa viva; materia orgánica muerta; suelos (divididos en suelos minerales y suelos orgánicos); y emisiones de GEI que no sean CO₂. Aunque las hojas de trabajo están en gran parte basadas en los métodos del Nivel I, se complementan con métodos de niveles superiores cuando proceda.

En general, las hojas de trabajo contienen la información siguiente:

- *Inicio y final de una categoría de uso de la tierra.* Se recomienda estratificaciones adicionales (en una columna aparte para subdivisiones) para criterios como zona climática, sistema de manejo, tipo de suelo, tipo de vegetación, especies arbóreas, zonas ecológicas, clasificación nacional de tierra u otros factores;
- *Datos de actividad.* Áreas de tierra, en miles de hectáreas, sujetas a deforestación bruta, degradación y explotación forestal;
- *Factores de emisión.* Los cambios en las reservas de carbono por unidad de superficie deforestada o degradada o *explotada*, separados para cada depósito de carbono;
- *Cambio total en las reservas de carbono.* Obtenido al multiplicar cada dato de la actividad por el factor pertinente de emisiones procedentes del cambio en la reserva de carbono; y
- *Emisiones totales.* Expresadas en unidades físicas (p. ej., Gg) o en CO₂ Eq.

En la Figura 6.2 se muestra un ejemplo de una hoja de trabajo de recopilación.

Cuadros de reporte

En la OBP-UTCUTS se facilitan dos tipos de cuadros de reporte. El primero representa una matriz de la superficie de toda la tierra que se convirtió a otra categoría y de las emisiones asociadas. Aunque este manual se centra en el monitoreo forestal, se facilita este cuadro como ejemplo. El segundo tipo de cuadro es un subconjunto del primer tipo, y se obtiene como resultado del primer cuadro porque refleja el cambio resultante en las reservas de carbono debido a las actividades. Además reporta las emisiones y absorciones de CO₂ y de GEI que no sean CO₂ debidas a la conversión de las seis categorías a cualquier otra categoría de uso de la tierra. Todos los cuadros de reporte se incluyen en el Anexo A3.2 de la OBP-UTCUTS.³⁶ A modo de ejemplo, en la Figura 6.3 (dos partes) se reproduce el cuadro resumen del reporte.

Para garantizar la exhaustividad de un inventario, es importante introducir información en todas las entradas de los cuadros de reporte. Si no se han estimado las cantidades exactas de emisiones y absorciones o no se pueden reportar de otro modo en los cuadros, el compilador del inventario debería usar las “claves de notación” cualitativas provistas por las directrices y OBP del IPCC (ver el Cuadro 6.2), junto con documentación de apoyo. Por ejemplo, si un país decide que se necesitaría una cantidad

³⁵ Ejemplo de hoja de trabajo: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpqlulucf/gpqlulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reporting_Tables.pdf

³⁶ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpqlulucf/gpqlulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reporting_Tables.pdf

desproporcionada de esfuerzo para recopilar datos para un depósito de una categoría específica que no es una categoría fundamental desde el punto de vista del nivel y tendencia generales de las emisiones nacionales, el país debería enumerar todos los gases y depósitos excluidos por este motivo, junto con una justificación para dicha exclusión, y debería usar la clave de notación “NE” (no estimado) en los cuadros de reporte. Es más, los cuadros de reporte se complementan normalmente con una documentación, que debería usarse para hacer referencia a las secciones pertinentes del reporte de inventario en caso de necesitarse más información.

CUADRO 3A.2.2A
HOJAS DE TRABAJO DE RECOPIACIÓN PARA EL REPORTE DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE CO₂¹

Categoría de uso de la tierra ²		Área de tierra (ha)	Biomasa viva			Materia orgánica muerta			Suelos ³		
Uso de la tierra inicial	Uso de la tierra durante el año del reporte		Incremento anual en las reservas de carbono (tC año ⁻¹)	Disminución anual en las reservas de carbono (tC año ⁻¹)	Cambio anual en las reservas de carbono (Gg CO ₂ año ⁻¹) $C = (A-B) \cdot 10^{-3} \cdot 44/12$	Cambio en la reserva de carbono en madera muerta (tC año ⁻¹)	Cambio en la reserva de carbono en hojarasca (tC año ⁻¹)	Cambio anual en la reserva de carbono (Gg CO ₂ año ⁻¹) $F = (D+E) \cdot 10^{-3} \cdot 44/12$	Cambio en la reserva de carbono en suelos minerales (tC año ⁻¹)	Cambio en la reserva de carbono en suelos orgánicos (tC año ⁻¹)	Cambio anual en la reserva de carbono (Gg CO ₂ año ⁻¹) $I = (G+H) \cdot 10^{-3} \cdot 44/12$
			A	B	C	D	E	F	I	H	I
Tierra forestal	Tierra forestal										
Tierra agrícola	Tierra forestal		ΔC_{TFI}^4	ΔC_{TFD}	ΔC_{TFBV}	ΔC_{TFMm}	ΔC_{TFH}	ΔC_{TFMOM}	ΔC_{TFMn}	ΔC_{TFMorg}	ΔC_{TFM}
Praderas	Tierra forestal										
Humedales	Tierra forestal										
Asentamientos	Tierra forestal										
Otro tipo de tierra	Tierra forestal										
		Subtotal para tierra forestal									
Tierra agrícola	Tierra agrícola										
Tierra forestal	Tierra agrícola										
Praderas	Tierra agrícola										
Humedales	Tierra agrícola										
Asentamientos	Tierra agrícola										
Otro tipo de tierra	Tierra agrícola										
		Subtotal para tierra agrícola									
Praderas	Praderas										
Tierra forestal	Praderas										
Tierra agrícola	Praderas										
Humedales	Praderas										
Asentamientos	Praderas										
Otro tipo de tierra	Praderas										
		Subtotal para praderas									
Humedales	Humedales										
Tierra forestal	Humedales										
Tierra agrícola	Humedales										
Praderas	Humedales										
Asentamientos	Humedales										
Otro tipo de tierra	Humedales										
		Subtotal para humedales									

Figura 0.2: Reproducción de una hoja de trabajo de recopilación para reportar las emisiones y absorciones

Otros cuadros que también se pueden incorporar en un reporte incluyen:

- Cuadros con la evolución de las emisiones, que incluyen los datos de anteriores años inventario; y
- Cuadros que ilustren los resultados de los análisis de categoría principal, la exhaustividad del reporte y la repetición de cálculos definitivos.

Una categoría principal es aquella a la que se da prioridad en un sistema nacional de inventario porque su estimación tiene una influencia significativa sobre el inventario total de GEI de un país en lo que respecta al nivel absoluto, la evolución o la incertidumbre de las emisiones y absorciones. Siempre que se utiliza el término “categoría principal”, este incluye tanto la categoría de fuente como la de sumidero.

Reporte de inventario

La otra parte de un inventario nacional es un reporte de inventario que contiene información detallada y transparente. Las secciones habituales de un reporte de inventario son:

- Un resumen general de la evolución de las emisiones y absorciones agregadas de GEI organizada por gas y categoría;
- Una descripción de las metodologías usadas en la compilación del inventario, de los supuestos, de las fuentes de datos y de las razones para su elección, así como una indicación del nivel de complejidad (niveles [tiers] del IPCC) aplicado. En el contexto del reporte de los programas REDD+, es probable que se exija información adecuada sobre la definición de uso de la tierra, la representación del área de tierra y las bases de datos de uso de la tierra;
- Una descripción de las categorías principales, lo que incluye información sobre el nivel de desglose por categorías utilizado y la razón, la metodología utilizada para identificar las categorías principales y, si es necesario, explicaciones sobre por qué no se han aplicado los niveles recomendados por el IPCC;
- Información sobre las incertidumbres (es decir, métodos utilizados y supuestos subyacentes), la coherencia de las series cronológicas, la repetición de cálculos (justificando por qué se proporcionan nuevas estimaciones), los procedimientos QA/QC y el archivado de los datos;
- Una descripción de los arreglos institucionales para la planificación, preparación y manejo del inventario; e
- Información sobre las mejoras planeadas.

Clave de notación	Explicación
NE (no estimado)	Emisiones o absorciones que ocurren pero no se han estimado o reportado.
IE (incluido en otro lugar)	Se han estimado e incluido en el inventario las emisiones o absorciones para esta actividad o categoría pero no se presentan por separado para esta categoría. Se debería indicar en qué categoría se han incluido estas emisiones y absorciones (p. ej., en el recuadro de documentación del cuadro correspondiente).
C (información confidencial)	Las emisiones o absorciones se han agregado e incluido en otro lugar del inventario porque el reporte en forma desglosada podría conducir a la revelación de información confidencial.
NA (no aplicable)	La actividad de la categoría existe pero se considera que las emisiones y absorciones relevantes no ocurrirán nunca. Estas celdas se encuentran normalmente sombreadas en los cuadros de reporte.
NO (no ocurre)	Una actividad o proceso no ocurre en un país.

Cuadro 0.2: Claves de notación a usar en los cuadros de reporte de GEI³⁷

³⁷ www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_volume1/V1_8_ch8_Reporting_Guidance.pdf

Además, toda la información importante del inventario se debería compilar y archivar, incluidos todos los factores de emisiones desglosados, los datos de la actividad y la documentación sobre cómo se generaron y agregaron para el reporte estos factores y datos. Esta información debería permitir que expertos no involucrados en la preparación del inventario lo reconstruyeran.

CUADRO 3A.2.1A
CUADRO DE REPORTE PARA LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE CO₂ Y DE GASES QUE NO SEAN CO₂ DEL UCUTS EN EL AÑO DEL REPORTE

Categoría de uso de la tierra		Orientaciones del IPCC ¹	Cambio anual en las reservas de carbono, Gg CO ₂				CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	NO _x ³ (Gg)	CO ₃ (Gg)
Uso de la tierra inicial	Uso de la tierra durante el año del reporte		Biomasa viva A	Materia orgánica muerta B	Suelos C	Emisiones y absorciones de CO ₂ ² D = (A+B+C) • (-1)				
Tierra forestal	Tierra forestal	5A								
Tierra agrícola	Tierra forestal	5A, 5C, 5D	ΔCTF _{BV} ²	ΔCTF _{MOM}	ΔCTF _{MOS}					
Praderas	Tierra forestal	5A, 5C, 5D								
Humedales	Tierra forestal	5A, 5C, 5D								
Asentamientos	Tierra forestal	5A, 5C, 5D								
Otro tipo de tierra	Tierra forestal	5A, 5C, 5D								
Subtotal para tierra forestal										
Tierra agrícola	Tierra agrícola	5A, 5D								
Tierra forestal	Tierra agrícola	5B, 5D								
Praderas	Tierra agrícola	5B, 5D								
Humedales	Tierra agrícola	5D								
Asentamientos	Tierra agrícola	5D								
Otro tipo de tierra	Tierra agrícola	5D								
Subtotal para tierra agrícola										
Praderas	Praderas	5A, 5D								
Tierra forestal	Praderas	5B, 5D								
Tierra agrícola	Praderas	5C, 5D								
Humedales	Praderas	5C, 5D								
Asentamientos	Praderas	5C, 5D								
Otro tipo de tierra	Praderas	5C, 5D								
Subtotal para praderas										
Humedales	Humedales	5A, 5E								
Tierra forestal	Humedales	5B								
Tierra agrícola	Humedales	5E								
Praderas	Humedales	5B								
Asentamientos	Humedales	5E								
Otro tipo de tierra	Humedales	5E								
Subtotal para humedales										

CUADRO 3A.2.1A (CONTINUACIÓN)
CUADRO DE REPORTE PARA LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE CO₂ Y DE GASES QUE NO SEAN CO₂ DEL UCUTS EN EL AÑO DEL REPORTE

Categoría de uso de la tierra		Orientaciones del IPCC ¹	Cambio anual en las reservas de carbono, Gg CO ₂				CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	NO _x ³ (Gg)	CO ₃ (Gg)
Uso de la tierra inicial	Uso de la tierra durante el año del reporte		Biomasa viva A	Materia orgánica muerta B	Suelos C	Emisiones y absorciones de CO ₂ ² D = (A+B+C) • (-1)				
Asentamientos	Asentamientos	5A								
Tierra forestal	Asentamientos	5B								
Tierra agrícola	Asentamientos	5E								
Praderas	Asentamientos	5B								
Humedales	Asentamientos	5E								
Otro tipo de tierra	Asentamientos	5E								
Subtotal para asentamientos										
Otro tipo de tierra	Otro tipo de tierra	5A								
Tierra forestal	Otro tipo de tierra	5B								
Tierra agrícola	Otro tipo de tierra	5E								
Praderas	Otro tipo de tierra	5B								
Humedales	Otro tipo de tierra	5E								
Asentamientos	Otro tipo de tierra	5E								
Subtotal para otros tipos de tierra										
Otros ⁴ (especificar)										
Subtotal para otros										
Total										

¹ Encabezados extraídos de las Instrucciones para el reporte de las *Orientaciones del IPCC*, párrafo 1.14-1.16: 5A - Cambios en las reservas de biomasa forestal y leñosa de otro tipo; 5B - Conversión de bosques y praderas; 5C - Abandono de tierras explotadas; 5D - Emisiones y absorciones procedentes de suelos; y 5E - Otros.

² A efectos de reporte, es necesario invertir el signo para que el valor obtenido se exprese como (-) para la absorción o eliminación y como (+) para la emisión. Por tanto, se multiplica menos 1 a la emisión o absorción de CO₂ obtenida.

³ Las *Orientaciones del IPCC* y este reporte ofrecen una metodología para estimar las emisiones de NO_x y CO para las emisiones del uso del suelo, el cambio del uso del suelo y la silvicultura procedentes solo de incendios. Si han reportado más datos, deberían proporcionar la información complementaria (método, datos de la actividad y factores de emisiones) que han usado para calcular estas estimaciones.

⁴ Esto puede incluir otras fuentes o sumideros no especificados, como por ejemplo el producto de madera recolectada, etc.

⁵ Los símbolos se facilitan para mostrar la relación entre las hojas de trabajo, hojas de trabajo de recopilación, cuadro de reporte y las ecuaciones en la parte principal del reporte. Nótese que los símbolos se proporcionan para una única categoría de uso de la tierra, como ejemplo.

Figura 0.3: Reproducción de cuadros resumen del reporte

Programas informáticos para el reporte

La CMNUCC ha desarrollado una herramienta informática en línea,³⁸ donde se introducen los datos de la actividad (DA) y los datos de los factores de emisiones y absorciones para obtener la absorción y emisión de carbono anual neta. Existen numerosas características o limitaciones importantes al usar el programa informático, como:

- Los nombres o tipos de categorías de bosques y plantaciones en un país tal vez sean diferentes de las categorías definidas en el programa de la CMNUCC;
- El programa de la CMNUCC se puede adaptar a las categorías pertinentes a nivel nacional (p. ej., se puede cambiar la especie Acacia por otra especie);
- Los nombres de categorías usadas en la columna no se incluyen en el procedimiento de cálculo de las hojas de trabajo y, por tanto, se pueden cambiar fácilmente; y
- Categorías de bosques y plantaciones: hay opción para 18 categorías, lo cual es una limitación si un país tiene más de 18 categorías. Hay dos opciones en caso de que el número de categorías de bosques y plantaciones sea mayor del ofrecido: i) Insertar más filas solo si el experto del inventario es capaz de modificar las “macros”; o ii) combinar categorías más pequeñas u homogéneas para que el número total de filas (o categorías) no exceda de 18.

El equipo de tareas para inventarios de GEI del IPCC ha lanzado también una herramienta informática de inventarios³⁹ para ayudar a los países a calcular y reportar las emisiones y absorciones de GEI; este programa es compatible con la Orientación del IPCC de 2006 (IPCC, 2006b).

Otra herramienta informática es el Programa de Inventario de GEI Procedentes de la Agricultura y el Uso de la Tierra⁴⁰ que guía a los compiladores de inventarios a través del proceso de estimación de las emisiones y absorciones de GEI relacionadas con las actividades agrícolas y de silvicultura (ALU Software, 2013). El programa simplifica el proceso para realizar el inventario dividiendo su análisis en pasos para facilitar la compilación de los DA, la asignación de los factores de emisiones y la finalización de los cálculos. Además, el programa tiene controles internos para garantizar la integridad de los datos. Muchos gobiernos tienen también interés en mitigar las emisiones de GEI procedentes de la agricultura y la silvicultura. Determinar la posible mitigación exige comprender tanto las tendencias actuales de emisión como la influencia de las prácticas alternativas de uso y explotación de la tierra sobre futuras emisiones.

6.3 VERIFICACIÓN

Según la OBP-UTCUTS (IPCC, 2003), el “propósito de la verificación de inventarios nacionales de GEI es establecer su fiabilidad y controlar la exactitud de las cifras reportadas por medios independientes. La

³⁸ http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_national_communications/non-annex_i_inventory_software/items/7627.php

³⁹ <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>

⁴⁰ <http://www.nrel.colostate.edu/projects/ALUsoftware/index.html>.

verificación se puede realizar a varios niveles: de proyecto, nacional e internacional”. El IPCC ha estipulado además que los objetivos generales de la verificación son ofrecer sugerencias para mejorar los inventarios de GEI, fortalecer la confianza en las estimaciones y tendencias y ayudar a mejorar el conocimiento científico. Estos objetivos se pueden lograr por medio de:

- Controles internos, realizados por las organizaciones, agencias o personas responsables de la compilación del inventario; y
- Controles externos, realizados por otros órganos no relacionados directamente con la preparación del inventario de GEI (p. ej., otras agencias gubernamentales, empresas privadas, consorcios de investigación, científicos independientes, organizaciones no gubernamentales).

En relación con la verificación interna, se proporciona información en la Sección 5.7 de la OBP-UTCUTS⁴¹. Esta información puede facilitar las actividades de verificación a nivel de proyecto o nacional, y es de sumo interés para las actividades de REDD+. En algunos casos, el texto se cita literalmente a partir del documento del IPCC, en otros casos se han realizado cambios para reflejar aspectos específicos de los programas REDD+.

Los gobiernos llegaron a un acuerdo con respecto a los requisitos y procedimientos de verificación externa para los programas REDD+ como parte de las negociaciones en la COP 19 en Varsovia, Polonia, en noviembre de 2013. El consiguiente “Marco de Varsovia para los programas REDD+”⁴² incluye dos decisiones relacionadas con la verificación a nivel internacional. En concreto:

- La Decisión 13/CP.19 sobre las directrices y procedimientos para la evaluación técnica de las presentaciones de las Partes sobre los niveles de referencia de emisiones forestales o niveles de referencia forestal propuestos; y
- La Decisión 14/CP.19 sobre las modalidades para la medición, reporte y verificación.

Las disposiciones de estas dos decisiones se analizarán más adelante en la Sección 6.3.3.

6.2.4 Enfoques para la verificación interna de proyectos o nacional

Según la OBP-UTCUTS, la singularidad de los métodos de estimación exigidos para las actividades relacionadas con la silvicultura ha desembocado en la conclusión de que la verificación “estaría basada en el recuento completo de las emisiones y absorciones a escala nacional, medidas por métodos independientes a distintos niveles, y posiblemente complementada con enfoques de arriba abajo basados en las mediciones atmosféricas”. Un proceso exhaustivo de verificación requeriría cotejar los resultados en diferentes escalas (subnacional y nacional), en función de las circunstancias nacionales de un país.

Al mismo tiempo, el IPCC ha reconocido que “semejante verificación sería compleja, consumiría recursos y posiblemente la realizarían consorcios o programas de investigación. Además, el cotejo requiere una cantidad considerable de tiempo y es probable que se implemente durante muchos años, en lugar de en base a un único año”.

Los cinco enfoques principales para la verificación que se incluyen actualmente en la OBP-UTCUTS son:

- 1) Comparación con otra información, como inventarios independientes y programas y bases de datos internacionales;

⁴¹ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpqlulucf/gpqlulucf_files/Chp5/Chp5_7_Verification.pdf

⁴² La COP 19 acordó que las Decisiones 9/CP.19, 10/CP.19, 11/CP.19, 12/CP.19, 13/CP.19, 14/CP.19 y 15/CP.19 fueran denominadas como el Marco de Varsovia para los programas REDD+ (ver el párrafo 44 del reporte de la COP 19, disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10.pdf>).

- 2) Aplicación de métodos de niveles (tiers) superiores;
- 3) Medición directa de las emisiones y absorciones de GEI;
- 4) Sensores remotos; y
- 5) Uso de modelos.

Junto con estos cinco enfoques, se pueden incluir los siguientes: revisión pública y externa por especialistas; examen de aspectos específicos del inventario, como datos subyacentes (recopilación, transcripción y análisis); factores de emisiones; supuestos de los DA; reglas aplicadas en los cálculos (idoneidad y aplicación de los métodos, incluidos los modelos); y procedimientos de ampliación. No importa qué enfoque de verificación se emplee o qué aspectos del inventario se verifiquen, la verificación debería realizarse usando datos y métodos independientes de aquellos usados para preparar el inventario.

Los criterios para seleccionar los enfoques de verificación incluyen: escala del interés, costes, nivel deseado de exactitud y precisión, complejidad del diseño y de la implementación de los enfoques de verificación, así como el nivel de experiencia mínimo necesario para realizar la verificación.

La Sección 5.7, Verificación, de la OBP-UTCUTS⁴³ ofrece una descripción técnica de cada enfoque, con referencias a su aplicabilidad (p. ej., para una categoría particular, tipos de datos). La orientación del IPCC ofrece además un cuadro de información, Figura 6.4 que se encuentra más adelante, para ayudar a identificar los enfoques más idóneos para categorías o entradas concretas.

⁴³ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp5/Chp5_7_Verification.pdf

CUADRO 5.7.1 APLICABILIDAD DE LOS ENFOQUES DE VERIFICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE TIERRA Y PARA DEPÓSITOS DE CARBONO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO QUE NO SEAN CO ₂					
	Enfoque 1 Comparación con otros inventarios y otras bases de datos independientes	Enfoque 2 Aplicación de métodos de niveles (tiers) superiores	Enfoque 3 Medición directa	Enfoque 4 Sensores remotos	Enfoque 5 Construcción de modelos
Área de tierra	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	No aplicable	Apto	No aplicable
Depósitos de carbono					
Biomasa por encima del suelo	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	Apto (se necesitan datos de tierra)	Apto (modelos de regresión, ecosistema y crecimiento)
Biomasa por debajo del suelo	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	No aplicable	Apto (modelos de regresión, ecosistema y crecimiento)
Madera muerta	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	No aplicable	Aplicable (modelos basados en el ecosistema y en el inventario)
Hojarasca	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	No aplicable	Aplicable (modelos basados en el ecosistema y en el inventario)
Materia orgánica del suelo	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	No aplicable	Apto (modelos basados en el ecosistema y en el inventario)
Gases del efecto invernadero que no sean CO ₂	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	No aplicable	Apto (modelos de ecosistema)
Factores de emisiones	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	No aplicable	Apto (modelos de ecosistema)
Reporte basado en la actividad/tierra					
Bosque, pastizal, tierra de cultivo y otros usos de la tierra	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	Apto, concretamente para identificar la cobertura terrestre/uso de la tierra y sus cambios	Apto, consume datos, puede ser un enfoque alternativo cuando las estimaciones de mediciones directas y sensores remotos no están disponibles
Aforestación, reforestación, deforestación, proyectos	Apto, si hay datos disponibles	Apto, si hay datos disponibles	Apto (consume recursos)	Apto, concretamente para identificar la cobertura terrestre/uso de la tierra y sus cambios	No es práctico

Figura 0.4: Reproducción del cuadro para la aplicabilidad general de los enfoques de verificación

6.2.5 Orientación general para la verificación interna

Según la OBP-UTCUTS, hay dos consideraciones fundamentales que una agencia de inventarios debe tener en su esfuerzo por elaborar un plan de verificación:

- **Identificar los criterios para seleccionar los elementos del inventario para la verificación.** Por ejemplo, se deberían priorizar las categorías principales de fuente y sumidero para la verificación. Al mismo tiempo, las categorías que no sean claves también se pueden seleccionar para la verificación si tienen una pertinencia concreta para los intentos de mitigación, su incertidumbre es alta o se espera que cambien significativamente durante el periodo de reporte del inventario.
- **Decidir cómo se verificarán los elementos del inventario.** Junto con la idoneidad y disponibilidad de un enfoque de verificación en particular, otros criterios que se deben usar para elegir un enfoque en concreto incluyen: el tipo de datos a verificar; la escala espacial de la cobertura del inventario; la cantidad y calidad de los datos a verificar; y la exactitud, precisión y coste del propio enfoque.

La OBP-UTCUTS estipula que “si un país se compromete a la verificación interna de su inventario, debería garantizar que:

- Se dispone de suficientes conocimientos y experiencia;
- Se incluye en el reporte de inventario la documentación de la verificación;
- Se incluyen en el reporte las estimaciones de incertidumbre y la documentación del QA/QC;
- Se describen otras actividades nacionales de verificación disponibles;
- Los métodos de verificación aplicados son transparentes, rigurosos y científicamente válidos;
- Los resultados de la verificación son razonables y están bien explicados; y
- Los cálculos finales pueden vincularse de forma razonable con los datos y supuestos subyacentes”.

En el Recuadro 5.7.3⁴⁴ de la OBP-UTCUTS (reproducido más adelante) se resumen algunas de las comprobaciones y comparaciones que se pueden usar para la verificación interna del sector del UTCUTS. Estas comprobaciones y comparaciones son esenciales y, de ser posible, se deberían haber llevado a cabo como parte del QA/QC.

⁴⁴ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp5/Chp5_7_Verification.pdf

RECUADRO 5.7.3
VERIFICACIÓN DE INVENTARIO DEL SECTOR DEL UTCUTS EN UN INVENTARIO NACIONAL

A. Verificaciones:

¿Documenta el inventario del sector del UTCUTS los datos y supuestos usados para estimar las emisiones y absorciones de todas las categorías de fuentes y sumideros del IPCC?

¿Se han incluido en el inventario todos los depósitos importantes de carbono?

Si se ha omitido alguna categoría de emisión y absorción del UTCUTS, ¿explica el reporte por qué? ¿Se han reportado las emisiones y absorciones como términos positivos y negativos, respectivamente?

Para el área total del inventario del sector del UTCUTS, ¿los cambios generales en el uso de la tierra para el año del inventario son iguales a cero dentro del límite de confianza?

¿Se evalúa y explica cualquier interrupción en las tendencias desde el año base hasta el año final?

B. Comparación de las emisiones y absorciones procedentes del UTCUTS:

Comparar el inventario del sector del UTCUTS con inventarios nacionales preparados de manera independiente para el **mismo** país o comparar subconjuntos regionales del inventario nacional con inventarios preparados de manera independiente para esas regiones. (Cuadro 5.7.1, Enfoque 1).

Comparar el inventario del sector del UTCUTS con inventarios nacionales para un país **diferente**, pero parecido (Cuadro 5.7.1, Enfoque 1).

Comparar los datos de la actividad o los factores de emisión del inventario del sector del UTCUTS con bases de datos internacionales independientes o con otros países. Por ejemplo, comparar los factores de expansión de biomasa de especies parecidas con los datos de países con condiciones forestales parecidas (Cuadro 5.7.1, Enfoque 1).

Comparar el inventario del sector del UTCUTS con resultados calculados usando la metodología de otro nivel (tier), incluidos los valores por defecto (Cuadro 5.7.1, Enfoque 2).

Comparar el inventario del sector del UTCUTS con estudios y experimentos de alta intensidad disponibles (Cuadro 5.7.1, Enfoque 1-3).

Comparar las áreas de tierra y las reservas de biomasa usadas en el inventario con los sensores remotos (Cuadro 5.7.1, Enfoque 4).

Comparar el inventario del sector del UTCUTS con modelos (Cuadro 5.7.1, Enfoque 5).

C. Comparación de incertidumbres:

Comparar las estimaciones de incertidumbre con la incertidumbre reportada en la bibliografía.

Comparar las estimaciones de incertidumbre con las de otros países y con los valores por defecto del IPCC.

D. Mediciones directas:

Llevar a cabo mediciones directas (como un inventario forestal local, mediciones detalladas del crecimiento o flujos ecosistémicos de los gases de efecto invernadero, Cuadro 5.7.1, Enfoque 3).

Figura 0.5: Recuadro 5.7.3 de la OBP-UTCUTS

Las circunstancias específicas de cada país y la disponibilidad de recursos son fundamentales para elegir los enfoques de verificación adecuados. En general, “los enfoques 1, 2 y 3 son factibles para verificar numerosos componentes del inventario. Una agencia de inventarios con recursos escasos o moderados puede implementar fácilmente los enfoques 1 y 2. El método más adecuado para la verificación de áreas de tierra es el uso de sensores remotos. Las mediciones directas son oportunas, aunque este enfoque puede consumir recursos y, a gran escala, los costes pueden suponer una limitación. Se pueden usar

modelos como alternativa cuando la medición directa combinada con los sensores remotos no sea factible”.

6.2.6 Disposiciones relacionadas con la verificación internacional del Marco de Varsovia para los programas REDD+

Como se analizó anteriormente en la Sección 6.2.2, los países en desarrollo interesados en implementar las actividades de REDD+ para obtener pagos basados en resultados están obligados a presentar información a la Secretaría de la CMNUCC sobre:

1. Sus NRE/NR propuestos; y
2. Los datos e información usados en la estimación de las emisiones y absorciones relacionadas con bosques antropogénicos procedentes de fuentes y sumideros, respectivamente, las reservas forestales de carbono y los cambios en la reserva forestal de carbono y en la superficie forestal después de que haya comenzado la implementación de las actividades de REDD+ (ver el Recuadro 6.5).

Ambos conjuntos de datos estarán sujetos a evaluación o análisis técnico.

Recuadro 6.5. Directrices para los elementos a incluir en el anexo técnico mencionado en la Decisión 14/CP.19, Modalidades de medición, reporte y verificación, párrafo 7

Informe resumido del reporte final que contenga cada uno de los correspondientes NRE o NR evaluados, lo que incluye:

- (a) El nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados expresados en toneladas de dióxido de carbono equivalente por año (CO₂ Eq);
 - (b) La actividad o actividades mencionadas en la Decisión 1/CP.16, párrafo 70, incluidas en el nivel de referencia de emisiones forestales o nivel de referencia forestal;
 - (c) La superficie forestal territorial cubierta;
 - (d) La fecha de la presentación del nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal y la fecha del reporte final de la evaluación técnica;
 - (e) El periodo (en años) del nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados.
2. Resultados, en toneladas de CO₂ Eq por año, acordes con el nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados.
 3. Demostrar que las metodologías usadas para obtener los resultados mencionados en el párrafo 2 son acordes con las utilizadas para establecer el nivel de referencia de emisiones forestales o el nivel de referencia forestal evaluados.
 4. Una descripción de los sistemas nacionales de monitoreo forestal y de las funciones y responsabilidades institucionales en la medición, reporte y verificación de los resultados.
 5. Información necesaria que permita la reconstrucción de los resultados.

6. Una descripción de cómo se han tenido en cuenta los elementos incluidos en la Decisión 4/CP.15, párrafo 1(c) y (d).

Evaluación técnica de los niveles de referencia de emisiones forestales o los niveles de referencia forestal (Decisión 13/CP.19)

De acuerdo con la Decisión 12/CP.17, los países en desarrollo pueden presentar una propuesta de NRE/NR que estará sujeto a una evaluación técnica. Cada presentación será evaluada por dos expertos en uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS) seleccionados de la lista de expertos de la CMNUCC, uno procedente de un país desarrollado y el otro de un país en desarrollo. Los objetivos de la evaluación técnica son:

- Evaluar hasta qué punto la información proporcionada sigue las directrices para la presentación de información sobre el NRE/NR (anexo de la Decisión 12/CP.17) para la construcción del NRE/NR;
- Ofrecer un intercambio técnico de información que no ofrezca problemas ni sea intrusivo sobre la construcción de los NRE/NR con vistas a apoyar la capacidad de los países en desarrollo para la construcción y mejoras futuras, según corresponda, de sus NRE/NR sujetos a las aptitudes y políticas nacionales.

La evaluación técnica de los datos, metodologías y procedimientos utilizados en la construcción del NRE/NR evaluará lo siguiente:

- En qué medida el NRE/NR sigue siendo acorde con las correspondientes emisiones y absorciones de GEI relacionadas con bosques antropogénicos procedentes de fuentes y sumideros, respectivamente, como se incluye en los inventarios nacionales de GEI;
- Cómo se han tenido en cuenta los datos históricos al establecer el NRE/NR;
- En qué medida la información proporcionada fue transparente, exhaustiva, coherente y exacta, lo que incluye información metodológica, descripción de las bases de datos, enfoques, métodos, modelos (si procede) y supuestos usados y si los NRE/NR son nacionales o cubren un área forestal de menor tamaño que su territorio nacional al completo;
- Si se ha incluido una descripción de las políticas y planes pertinentes, según corresponda;
- Si aplica, proveer descripción de los cambios con respecto a los NRE/NR presentados anteriormente, teniendo en cuenta el enfoque gradual;
- Depósitos y gases, actividades incluidas en el NRE/NR y la justificación de por qué los depósitos o actividades omitidos no se consideraron significativos;
- Si se ha incluido la definición de bosque usada en la construcción del NRE/NR y, si es diferente de la usada en el inventario nacional de GEI o de la reportada a otras organizaciones internacionales, por qué y cómo se eligió la definición utilizada;
- Si se han incluido en la construcción del NRE/NR los supuestos sobre futuros cambios en las políticas nacionales;
- En qué medida el valor del NRE/NR es acorde con la información y descripción proporcionada por el país.

Como parte del proceso de evaluación técnica, se pueden identificar áreas susceptibles de mejora técnica y el país interesado puede señalar dichas áreas y las necesidades de fomento de las capacidades para la construcción de futuros NRE/NR. Dada la naturaleza opcional de la evaluación, el equipo de evaluación habrá de abstenerse de emitir juicios sobre las políticas nacionales tenidas en cuenta en la construcción de los NRE/NR. La Decisión contiene además disposiciones relacionadas con los procedimientos generales y la cronología (ver la Figura 6.6 para el desarrollo cronológico) de la evaluación técnica.

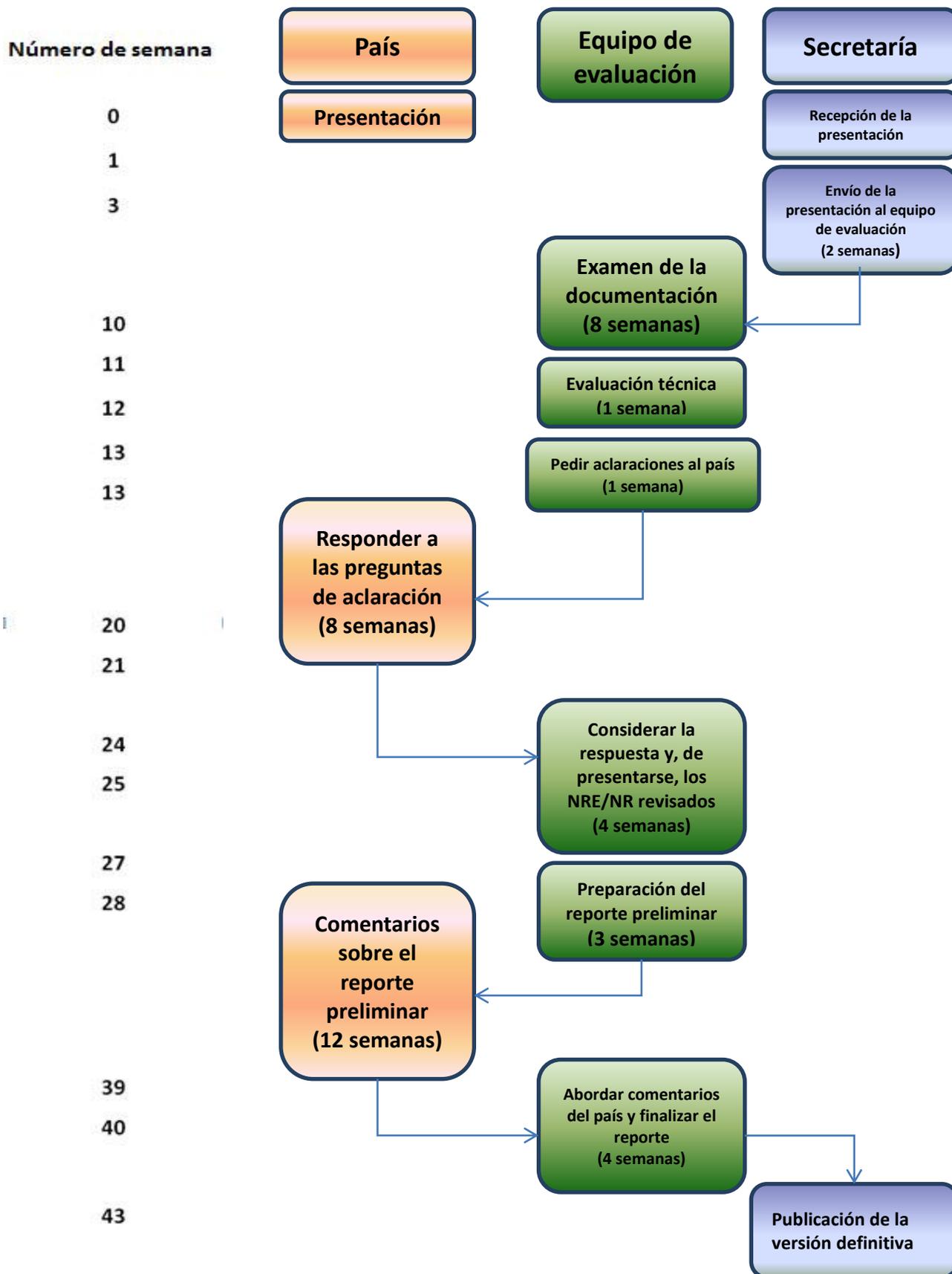


Figura 0.6: Cronología para la evaluación técnica de los NRE/NR

Análisis técnico de los datos e información para pagos basados en resultado (Decisión 14/CP.19)

A petición del país en desarrollo que busca obtener y recibir pagos por las medidas basadas en resultados, dos expertos en UTCUTS seleccionados de la lista de expertos de la CMNUCC, cada uno procedente de un país desarrollado y de un país en desarrollo, serán incluidos entre los miembros elegidos para componer el equipo técnico de expertos. Como parte del análisis técnico mencionado en la Decisión 2/CP.17, Anexo IV, párrafo, 4, el equipo técnico de expertos deberá analizar en qué medida:

- (a) Existe conformidad entre el nivel de referencia evaluado y los resultados de la implementación de las actividades mencionadas en la Decisión 1/CP.16, párrafo 70, en lo que respecta a las metodologías, definiciones, exhaustividad e información proporcionada;
- (b) Los datos e información suministrados en el anexo técnico son transparentes, coherentes, exhaustivos y exactos;
- (c) Los datos e información suministrados en el anexo técnico son acordes con las directrices pertinentes; y
- (d) Los resultados son exactos, en la medida de lo posible;

El país en desarrollo que presentó el anexo técnico tiene la posibilidad de interactuar con el equipo técnico de expertos durante el análisis de su anexo técnico para ofrecer aclaraciones e información complementaria que faciliten el análisis del equipo técnico de expertos. Es posible que los dos expertos en el UTCUTS pidan aclaraciones sobre el anexo técnico y el país debería ofrecerlas en la medida de lo posible, de acuerdo con las circunstancias nacionales y teniendo en cuenta las capacidades nacionales.

Los expertos en el UTCUTS elaborarán, bajo su responsabilidad colectiva, un reporte técnico que la Secretaría publicará por medio de la plataforma web en el sitio web de la CMNUCC, que contenga:

- (a) El anexo técnico;
- (b) El análisis del anexo técnico;
- (c) Áreas identificadas susceptibles de mejoras técnicas, según corresponda; y
- (d) Cualquier comentario o respuestas por parte del país en desarrollo interesado, lo que incluye áreas susceptibles de más mejoras y necesidades de fomento de las capacidades, si se han señalado por el país interesado, según corresponda.

6.4 REFERENCIAS

- ALU Software. 2013. Agriculture and Land Use National Greenhouse Gas Inventory Software. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, <http://www.nrel.colostate.edu/projects/ALUsoftware/>.
- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html>
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC. 2006b. IPCC Inventory Software <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/>
- UNFCCC. 2007. Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007. Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its thirteenth session. FCCC/CP/2007/6/Add.1
- UNFCCC. 2010. UNFCCC Decision 1/CP.16: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention - C. Policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf
- UNFCCC. 2011. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session. <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf#page=4>.
- UNFCCC. 2013. Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session. <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf>

7.0 REVISIÓN DE TEMAS

7.1 LA HISTORIA DE REDD+ BAJO LA CMNUCC

Autor: Ángel Parra

7.1.1 INTRODUCCIÓN

Esta revisión por temas presenta un resumen de las negociaciones sobre la reducción de emisiones de la deforestación y la degradación forestal, más el papel de la conservación, el manejo forestal sostenible y la mejora de las reservas de carbono forestal (REDD+) bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), así como sobre el papel desempeñado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) a la hora de proporcionar orientación metodológica para el uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS). Esta revisión ofrece contexto adicional, pero la orientación sobre reportes actual bajo la CMNUCC se trata en el Capítulo 6.

La toma de decisiones informada, así como la aplicación exitosa de los acuerdos internacional sobre cambio climático (como la CMNUCC y su Protocolo de Kioto), depende de la disponibilidad de información exacta y fiable sobre los emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI). El hecho que la comunidad internacional haya comprendido la necesidad urgente de abordar REDD+ ha provocado que se hayan tomado decisiones que realzan la importancia de la medición, el reporte y la verificación (MRV) de las emisiones y absorciones de GEI, así como su papel en los esfuerzos de mitigación mundial para afrontar los efectos del cambio climático antropogénico.

Según las decisiones adoptadas por los gobiernos que trabajan bajo la tutela de la Conferencia de las Partes (COP) de la CMNUCC, los países en desarrollo que deseen emprender acciones de REDD+ deben establecer un sistema nacional de monitoreo forestal (SNMF) para abordar las emisiones antropogénicas por las fuentes y las absorciones antropogénicas por los sumideros de GEI relacionadas con los bosques. Dado que las acciones de REDD+ deberían basarse en los resultados, los países en desarrollo deberán demostrar que están logrando reducir las emisiones de la deforestación, en comparación con un escenario habitual, o los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal (NRE/NR).

7.1.2 Resumen de las negociaciones REDD+ bajo la CMNUCC

La silvicultura ha sido reconocida como uno de los sectores clave que se debe abordar en el contexto más amplio de la mitigación de los GEI bajo la CMNUCC. El principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas” de la Convención (1992), artículo 4, párrafo 1(c) estipula que todos los países deben “promover y apoyar con su cooperación el desarrollo, la aplicación y la difusión, incluida la transferencia, de tecnologías, prácticas y procesos que controlen, reduzcan o prevengan las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en todos los sectores pertinentes, entre ellos la energía, el transporte, la industria, la agricultura, la silvicultura y la gestión de desechos”.

En el Artículo 4 también se mencionan compromisos para todos los países a fin de “promover la gestión sostenible y promover y apoyar con su cooperación la conservación y la mejora, según proceda, de los sumideros y depósitos de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, inclusive la biomasa, los bosques y los océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos” (Artículo 4, párrafo 1 (d)).

Sin embargo, la complejidad del sector ha supuesto muchos retos, que han provocado que se pospusiera la toma de decisiones sobre cómo abordar la reducción de las emisiones de GEI procedentes de actividades de silvicultura, especialmente en países en desarrollo. La Figura 7.1 describe el progreso de discusión de REDD+ entre la COP11 y la COP19.

COP11: 2005, Montreal	Acuerdo para la consideración de la reducción de emisiones debidas a la deforestación, incluidas cuestiones científicas, técnicas y metodológicas; enfoques de políticas e incentivos positivos.
COP13: 2007, Bali	Adopción del Plan de Acción de Bali (Decisión 1/CP.13) que incluye REDD+ como uno de los elementos clave de la intensificación de la labor nacional e internacional relativa a la mitigación del cambio climático; (Decisión 2/CP.13) alienta a tomar acciones relativas a REDD+, entre las que incluye: el fomento de las capacidades, la transferencia de tecnología, las actividades de demostración y la movilización de recursos.
COP15: 2009, Copenhague	Acuerdo sobre orientación metodológica (Decisión 4/CP.15), incluidos elementos de SNMF para la aplicación de actividades relacionadas con la Decisión 2/CP.13.
COP16: 2010, Cancún	Adopción de los Acuerdos de Cancún (Decisión 1/CP.16) que reconocen que los países en desarrollo deberían tener como objetivo: 1) frenar, detener y revertir la pérdida de cubierta forestal y de carbono; 2) contribuir a la labor de mitigación en el sector forestal, y 3) desarrollar un plan de acción o estrategia nacional, niveles de referencia forestales (NR) nacionales o niveles de referencia subnacionales, un sistema nacional de monitoreo forestal (SNMF), un sistema para proporcionar información sobre salvaguardas.
COP17: 2011, Durban	Adopción de la Decisión 12/CP.17 que incluye orientación sobre cómo proporcionar información acerca de la forma en que se están abordando y respetando las salvaguardas, y elabora modalidades relativas a los niveles de referencia de las emisiones forestales y los niveles de referencia forestal (NRE/NR).
COP18: 2012, Doha	Adopción de la Decisión 1/CP.18 con acuerdos para iniciar un programa de trabajo sobre financiación basada en los resultados para REDD+.
COP19: 2013, Varsovia	Adopción del Marco de Varsovia para REDD-plus . Siete decisiones (Decisiones 9/CP.19 a 15/CP.19) que abordan: financiación, coordinación del apoyo, modalidades de los sistemas nacionales de monitoreo forestal (SNMF), salvaguardas, NRE/NR, modalidades de MRV, factores impulsores de la deforestación y la degradación forestal.

Figura 0.1: Discusiones sobre REDD+ llevadas a cabo entre COP11 y COP19

COP11

Esta dinámica cambió en la 11.º reunión de la COP (COP11) que tuvo lugar en Montreal, Canadá, en el año 2005, cuando Papua Nueva Guinea y Costa Rica, con el apoyo de otros ocho países, propusieron un mecanismo para reducir las emisiones debidas a la deforestación en los países en desarrollo. La propuesta recibió un amplio apoyo y la COP inició un proceso de dos años para explorar opciones para REDD con la participación tanto de gobiernos como de organizaciones observadoras que presentaban propuestas y recomendaciones sobre cómo reducir las emisiones de GEI debidas a la deforestación y la degradación forestal.

COP13

En la COP13, los gobiernos tomaron conclusiones acordadas de conformidad con el Plan de Acción de Bali, que definía un mayor alcance para futuras acciones a nivel mundial. El Plan de Acción de Bali (Decisión 1/CP.13) marcó el inicio de un nuevo proceso mundial a través de la cooperación a largo plazo en todos los aspectos relativos al cambio climático, es decir, mitigación, adaptación, tecnología y financiación. Un elemento clave de la negociación internacional fue el papel de los países en desarrollo en los esfuerzos nacionales e internacionales para mitigar el cambio climático. El Plan de Acción de Bali incluía consideraciones sobre las siguientes acciones:

- Medidas de mitigación adecuadas a cada país (NAMA) por las Partes que son países en desarrollo en el contexto del desarrollo sostenible, apoyadas y facilitadas por tecnologías, financiación y actividades de fomento de la capacidad, de manera medible, reportable y verificable (subpárrafo 1 (b) (2) de la Decisión 1/CP.13); y
- Enfoques de política e incentivos positivos para las cuestiones relativas a la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques en los países en desarrollo; y la función de la conservación, la gestión sostenible de los bosques y el aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo (subpárrafo 1 (b) (3) de la Decisión 1/CP.13).

Estas disposiciones unifican los esfuerzos nacionales de mitigación, REDD+, desarrollo sostenible, de tecnología, de financiación y de MRV. Sin embargo, el inicio de negociaciones sobre las acciones que se deben realizar en el futuro no significa que los esfuerzos de mitigación actuales deban reducirse o interrumpirse, ya que el proceso de negociaciones debe estar informado por “... la mejor información científica disponible, en la experiencia en la aplicación de la Convención y su Protocolo de Kioto y de los procesos en ellos previstos, en los resultados de otros procesos intergubernamentales pertinentes y en las aportaciones de los círculos empresariales, la comunidad de investigadores y la sociedad civil”.⁴⁵ La intención es que las lecciones aprendidas de los esfuerzos actuales guíen en el futuro el proceso intergubernamental mientras define un nuevo camino a seguir.

La COP13 también adoptó la Decisión 2/CP.13 sobre “reducción de las emisiones derivadas de la deforestación en los países en desarrollo: métodos para estimular la adopción de medidas”. A través de esta decisión, la COP alentó las actividades de fomento de la capacidad, asistencia técnica, facilitación de transferencia de tecnología y el desarrollo de las actividades de demostración. La decisión también

⁴⁵ Párrafo 11 de la Decisión 1/CP.13

requirió el avance de labor metodológica relevante por parte del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT).⁴⁶

COP14

Un año más tarde, en el año 2008, en la COP14 en Poznan, Polonia, el OSACT llegó a varios acuerdos sobre distintas cuestiones relativas a REDD+, entre las que se incluían:

- La organización de una reunión de expertos sobre: cuestiones metodológicas relativas a los niveles de referencia de emisiones (NRE) para la deforestación y la degradación; la relación entre los niveles de referencia de emisiones y otros niveles de referencia relevantes; el papel de la conservación, la gestión sostenible de bosques, los cambios en la cubierta forestal y las reservas de carbonos vinculados y emisiones de GEI y la mejora de las reservas forestales de carbono para mejorar la labor relativa a la mitigación del cambio climático;
- Una recomendación sobre orientaciones metodológicas que destaca la importancia de, entre otras cosas, mejorar la preparación de los países en desarrollo, y de una mayor movilización de recursos, en relación con la Decisión 2/CP.13, así como reconocer la necesidad de promocionar la participación plena y eficaz de los pueblos indígenas y las comunidades locales, teniendo en cuenta las circunstancias nacionales y los acuerdos internacionales pertinentes; y
- Una recomendación sobre el uso de la orientación revisada de 1996 del IPCC para los inventarios nacionales de GEI, y estímulos para usar la Orientación del IPCC de la buena práctica para el uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura (OBP-UTCUTS), según corresponda.

Es importante destacar que en las negociaciones climáticas, los términos *niveles de referencia (NR)* y *niveles de referencia de emisiones (NRE)* se refieren a una base de referencia que se puede desarrollar teniendo en cuenta los datos históricos. Ni la CMNUCC ni el IPCC han definido estos términos y, a pesar de que a veces se utilizan de manera intercambiable, suelen diferir en su uso. Los NR se refieren a la cantidad de emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal y a la cantidad de absorciones provocadas por el manejo sostenible de bosques y la mejora de las reservas forestales de carbono. Los NRE se refieren únicamente a la cantidad de emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal.

COP15

Durante las negociaciones sobre REDD+ que precedieron a la COP15 celebrada en Copenhague, Dinamarca, en el año 2009, se logró un progreso significativo. A pesar de las dificultades para alcanzar acuerdos sobre un conjunto de medidas como resultado de la COP15, las negociaciones sobre REDD+ culminaron con la adopción de la Decisión 4/CP.15. en la que se abordaron cuestiones como el alcance, los principios rectores, las salvaguardas y un enfoque escalonado para REDD+. Específicamente, a través de la Decisión 4/CP.15, entre otras cuestiones, la COP:

- Solicitó a los países en desarrollo, entre otras cosas, que determinaran los causantes de la deforestación y la degradación de los bosques y que utilizaran las orientaciones más recientes

⁴⁶ El OSACT es un órgano subsidiario permanente en el marco de la CMNUCC. Sirve de apoyo a la labor de la COP y la Conferencia de las Partes en calidad de Reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (CMP) a través de la aportación puntual de información y asesoramiento sobre asuntos científicos y tecnológicos según estén relacionados con la Convención o el Protocolo.

del IPCC para estimar las emisiones y establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal (SNMF).

- Alentó a todas las partes capaces a apoyar el fomento de capacidades para fomentar capacidades en países en desarrollo;
- Alentó a desarrollar orientaciones para la participación de los pueblos indígenas y de las comunidades locales.
- Reconoció que los niveles de referencia de las emisiones forestales (NRE) deberían tener en cuenta los datos históricos, y adaptarse a las circunstancias nacionales; e
- Instaron a coordinar esfuerzos.

COP16

Los resultados de la COP16 celebrada en Cancún, México, en el año 2010, supusieron un hito para REDD+, ya que se consolidaron muchas de las decisiones clave adoptadas en sesiones previas (Bali, Poznan y Copenhague), como parte de los Acuerdos de Cancún (Decisión 1/CP.16). En concreto, la COP afirmó que, en el contexto del suministro de un apoyo adecuado y previsible en el futuro, los países en desarrollo deberían proponerse frenar, detener y revertir la pérdida de cubierta forestal y de carbono. La COP también alentó a las Partes que eran países en desarrollo a participar en la labor de mitigación en el sector forestal a través de medidas en las cinco áreas específicas que aparecen en el Recuadro 7.1.

A los países en desarrollo se les pidió que desarrollaran una estrategia o plan de acción nacional, niveles de referencia forestal nacional (NR) o niveles de referencia (NR) subnacionales como medida interna, un sistema nacional de monitoreo forestal (SNMF) sólido y transparente y un sistema para proporcionar información sobre cómo se abordarían las salvaguardas que aparecen en el Anexo I a la Decisión 1/CP.16 (ver el Recuadro 7.2) a través de su aplicación.

La COP también solicitó que el OSACT desarrollara un programa de trabajo para identificar, entre otras cuestiones, los causantes de la deforestación y la degradación, así como metodologías para estimar las emisiones y las absorciones derivadas de estas actividades. El programa de trabajo debía desarrollar modalidades para MRV de emisiones por las fuentes y absorciones por los sumideros provocadas por estas actividades, compatibles con la MRV de Medidas de mitigación adecuadas a cada país (NAMA) para tomarlas en consideración en la COP18. Al Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo (GTE-CLP) se le solicitó que explorara opciones de financiación para la aplicación plena de las acciones basadas en los resultados y para reportar sobre ello en la COP17.

Tras el resultado exitoso de Cancún, los gobiernos continuaron trabajando durante 2011 para preparar la COP17 que tuvo lugar en Durban, Sudáfrica, en el año 2011. A principios de ese año, en la 34.ª reunión del OSACT, celebrada en Bonn, Alemania, se continuó trabajando en la orientación técnica para MRV, incluidos los principios que se debían seguir al diseñar sistemas de MRV. Dichas discusiones han continuado en las siguientes reuniones del OSACT.

COP17

Las negociaciones llevadas a cabo durante la COP17 se centraron en dos grupos de cuestiones relativas a REDD+.

- Las fuentes de financiación para REDD+, el papel de los mercados y de actores ajenos a mercados y el posible uso de compensaciones; y
- Orientación sobre sistemas para proporcionar información acerca de cómo las salvaguardas se abordan y respetan, modalidades de NRE/NR y MRV.
- Como parte del resultado de la COP17 (Decisión 2/CP.17), la COP acordó, entre otras cuestiones:
- Independientemente del tipo de financiación, las actividades a las que se hace referencia en el párrafo 70 de la Decisión 1/CP.16 (ver el Recuadro 7.1) deberían ser compatibles con las disposiciones pertinentes incluidas en la Decisión 1/CP.16, incluidas las salvaguardas en el Apéndice I (ver el Cuadro 7.2).
- La financiación basada en los resultados proporcionada a los países en desarrollo que sea nueva, adicional y predecible podrá proceder de una gran variedad de fuentes, públicas y privadas, bilaterales y multilaterales; y
- En vista de la experiencia obtenida a través de las actividades de demostración actuales y futuras, la COP podrá desarrollar enfoques apropiados basados en el mercado para apoyar las acciones basadas en los resultados en los países en desarrollo.

Recuadro 7.1: Párrafo 70 de la Decisión 1/CP.16

La Conferencia de las Partes,

...

70. Alienta a las Partes que son países en desarrollo a contribuir a la labor de mitigación en el sector forestal adoptando las siguientes medidas, a su discreción y con arreglo a sus capacidades respectivas y sus circunstancias nacionales:

- (a) La reducción de las emisiones debidas a la deforestación;
- (b) La reducción de las emisiones debidas a la degradación forestal;
- (c) La conservación de las reservas forestales de carbono;
- (d) La gestión sostenible de los bosques;
- (e) El incremento de las reservas forestales de carbono;

En la Decisión 2/CP.17, la COP observó que la orientación sobre sistemas para proporcionar información de salvaguardas debe ser compatible con la soberanía, la legislación y las circunstancias nacionales. En la sección en la que proporciona información sobre cómo se abordan y respetan las salvaguardas, entre otras cosas, la COP:

- Observó que la aplicación de las salvaguardas y la información sobre cómo se abordan y se respetan las salvaguardas debe apoyar las estrategias o planes de acción nacionales y estar incluida en todas las fases de aplicación, según convenga.
- Convino que los sistemas para proporcionar información sobre cómo se abordan y respetan las salvaguardas deben, entre otras cosas: proporcionar información transparente y coherente accesible a todos los actores competentes y actualizada regularmente, estar a cargo de los países y aplicadas nacionalmente y basarse en los sistemas existentes, si los hubiera.

- Convino que los países en desarrollo que realicen estas actividades, deben proporcionar un resumen de información sobre cómo se abordan y respetan las salvaguardas durante la implementación.
- Decidió que el resumen de información al que se hace referencia se debe proporcionar periódicamente y se debe incluir en las comunicaciones nacionales, de conformidad con las decisiones pertinentes de la COP sobre las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I, o por los canales de comunicación acordados por la COP.
- Solicitó al OSACT que, en su 36.º período de sesiones, estudiara el momento para la primera presentación y la frecuencia de las presentaciones posteriores del resumen de la información a que se hace que se debía tener en cuenta para la COP18, así como la necesidad de proporcionar más orientación para la COP.

Recuadro 7.2: Salvaguardas para actividades REDD+ (párrafo 2 del Apéndice I de la Decisión I/CP.16)

2. Al aplicar las medidas mencionadas en el párrafo 70 de la Decisión I/CP.16, deberían promoverse y respaldarse las siguientes salvaguardas:

- (a) La complementariedad o compatibilidad de las medidas con los objetivos de los programas forestales nacionales y de las convenciones y los acuerdos internacionales sobre la materia;
- (b) La transparencia y eficacia de las estructuras de gobernanza forestal nacional, teniendo en cuenta la legislación y la soberanía nacional;
- (c) El respeto de los conocimientos y los derechos de los pueblos indígenas y los miembros de las comunidades locales, tomando en consideración las obligaciones internacionales pertinentes y las circunstancias y la legislación nacionales, y teniendo presente que la Asamblea General de las Naciones Unidas ha aprobado la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas;
- (d) La participación plena y efectiva de los interesados, en particular los pueblos indígenas y las comunidades locales, en las medidas mencionadas en los párrafos 70 y 72 de la presente decisión;
- (e) La compatibilidad de las medidas con la conservación de los bosques naturales y la diversidad biológica, velando por que las que se indican en el párrafo 70 de la presente decisión no se utilicen para la conversión de bosques naturales, sino que sirvan, en cambio, para incentivar la protección y la conservación de esos bosques y los servicios derivados de sus ecosistemas y para potenciar otros beneficios sociales y ambientales;
- (f) La adopción de medidas para hacer frente a los riesgos de reversión;
- (g) La adopción de medidas para reducir el desplazamiento de las emisiones.

* Teniendo en cuenta la necesidad de medios de vida sostenibles de los pueblos indígenas y las comunidades locales y su interdependencia con los bosques en la mayoría de los países, que se reflejan en la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas y la celebración del Día Internacional de la Madre Tierra.

En cuanto a los NRE/NR, la COP, entre otras cuestiones:

- Acordó que los NRE/NR son referencias para evaluar el desempeño de cada país en la aplicación de las actividades a las que se ha hecho mención;
- Decidió que deben establecerse teniendo en cuenta el párrafo 7 de la Decisión 4/CP.15, y ser compatibles con las emisiones antropogénicas por las fuentes y las absorciones antropogénicas por los sumideros de GEI relacionadas con los bosques en los inventarios de un país;
- Invitó a los países en desarrollo a entregar información y justificación sobre el desarrollo de sus NRE/NR, incluidos detalles sobre las circunstancias nacionales, y, en caso de ajustarse a circunstancias nacionales, incluidos detalles de conformidad con las directrices que aparecen en la Decisión 2/CP.17 (ver Recuadro 7.3).
- Reconoció que los NRE/NR subnacionales se pueden elaborar como medida provisional mientras se hace la transición a un nivel nacional, y que los NR provisionales pueden cubrir menos que el territorio nacional de área forestal;
- Reconoció que los países en desarrollo deben actualizar los NRE/NR periódicamente, según convenga, teniendo en cuenta los nuevos conocimientos, tendencias y cualquier modificación del alcance y las metodologías; y
- Convino en establecer un proceso que permita una evaluación técnica de los NR propuestos cuando las Partes los presenten o actualicen de conformidad con la orientación que debía preparar el OSACT en su 36.º reunión.

La CMNUCC también ha abordado la necesidad de que los países establezcan sus NRE. Los NRE/NR son referencias para evaluar el desempeño de cada país en la aplicación de las actividades de REDD+. Los países que ejecuten actividades de REDD+ bajo la CMNUCC deberán desarrollar sus NRE y entregarlos a la CMNUCC. Las estimaciones de emisiones de estos países se compararán con las estimadas mediante MRV, y la diferencia entre ambas se utilizará para medir la efectividad de las políticas de cada país y de las medidas relacionadas con REDD+.

La primera orientación de la CMNUCC se proporcionó en la Decisión 4/CP.15, que reconocía que los NRE se deben establecer de manera transparente, deben tener en cuenta las tendencias históricas, y pueden adaptarse a las circunstancias nacionales. Más adelante, la Decisión 1/CP.16 definió los NRE/NR como uno de los elementos que deben desarrollar las Partes que se propongan adoptar actividades de REDD+, de conformidad con las circunstancias nacionales, y que los NRE subnacionales se pueden utilizar como medida provisional. La orientación más reciente relativa a los NRE surgió en la COP17, e indica que las Partes deben: 1) establecer NRE manteniendo la coherencia con las emisiones y absorciones forestales tal como aparece en los inventarios nacionales de los países; 2) entregar información y justificación del desarrollo de sus NRE, también sobre la manera en que se tuvieron en cuenta las circunstancias nacionales; 3) considerar un enfoque escalonado para el desarrollo de NRE a fin de permitir la incorporación de datos y metodologías mejorados; y 4) actualizar los NRE periódicamente para reflejar los nuevos conocimientos y tendencias. La orientación acumulada indica que los NRE se deben desarrollar con fuertes vínculos al diseño del sistema MRV nacional, garantizando la coherencia en los enfoques para la recopilación y el uso de datos.

COP19

La COP19 se celebró en Varsovia, Polonia, en el año 2013, y tuvo como resultado la adopción de siete decisiones conocidas en su conjunto como el Marco de Varsovia para REDD+. Estas decisiones abarcan varios temas, entre ellos, financiación, arreglos institucionales, sistemas nacionales de monitoreo nacional (SNMF), salvaguardas, niveles de referencia de las emisiones forestales (NRE), MRV y los

factores impulsores de la deforestación y la degradación forestal. A continuación se detallan dichas decisiones. En el Recuadro 7.3 se incluye un resumen de la CMNUCC⁴⁷.

- **Decisión 9/CP.19:** Programa de trabajo sobre la financiación basada en los resultados para avanzar en la plena realización de las actividades a que se hace referencia en la decisión 1/CP.16, párrafo 70.
- **Decisión 10/CP.19:** Coordinación del apoyo a la realización de actividades relacionadas con medidas de mitigación en el sector forestal por parte de los países en desarrollo, incluidos los arreglos institucionales.
- **Decisión 11/CP.19:** Modalidades de los sistemas nacionales de monitoreo forestal.
- **Decisión 12/CP.19:** Calendario y frecuencia de la presentación del resumen de la información sobre la forma en que se están abordando y respetando todas las salvaguardas expuestas en la decisión 1/CP.16, apéndice I.
- **Decisión 13/CP.19:** Directrices y procedimientos para la evaluación técnica de las comunicaciones presentadas por las Partes sobre los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal propuestos.
- **Decisión 14/CP.19:** Modalidades para la medición, notificación y verificación.
- **Decisión 15/CP.19:** Lucha contra los factores impulsores de la deforestación y la degradación forestal.

⁴⁷ <http://unfccc.int/methods/redd/items/8180.php>

Recuadro 7.3: Resumen de la CMNUCC sobre el Marco de Varsovia para REDD+

Decisión 9/CP.19: Programa de trabajo sobre la financiación basada en los resultados para avanzar en la plena realización de las actividades a que se hace referencia en la decisión 1/CP.16, párrafo 70. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Reafirma que la financiación basada en los resultados podrá proceder de una gran variedad de fuentes, públicas y privadas, bilaterales y multilaterales, con inclusión de fuentes alternativas.
- Alienta a las entidades que financian, incluido el Fondo Verde para el Clima desempeñando un papel crucial, a que canalicen financiación basada en los resultados adecuada y previsible de manera justa y equilibrada, trabajando al mismo tiempo con vistas a aumentar el número de países que estén en condiciones de obtener y recibir pagos por las medidas basadas en los resultados.
- Decide establecer un centro de información en la plataforma web de REDD para publicar la información sobre los resultados y sobre los correspondientes pagos basados en los resultados.
- Pide al Comité Permanente de Financiación que examine la cuestión de la financiación para los bosques, en el marco de su labor relativa a la coherencia y la coordinación.
- Reconoce la importancia de incentivar los beneficios no relacionados con el carbono para la sostenibilidad a largo plazo de las actividades a que se hace referencia en la decisión 1/CP.16, párrafo 70.

Decisión 10/CP.19: Coordinación del apoyo a la realización de actividades relacionadas con medidas de mitigación en el sector forestal por parte de los países en desarrollo, incluidos los arreglos institucionales. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Invita a las Partes interesadas a designar una entidad o funcionario nacional que actúe como enlace con la secretaría y los organismos pertinentes de la Convención, en lo relativo a la coordinación del apoyo, y que también pueda ser nominada para recibir y obtener pagos basados en los resultados.
- Toma conocimiento de que, para abordar las cuestiones relacionadas con la coordinación del apoyo se identificaron una serie de necesidades y funciones.
- Alienta a las entidades o los funcionarios de enlace nacionales, a las Partes y a las entidades pertinentes que se reúnan, a título voluntario, para hablar sobre las necesidades y funciones identificadas para abordar las cuestiones relacionadas con la coordinación del apoyo; que la primera reunión se celebre conjuntamente con el Órgano Subsidiario de Ejecución (SBI 41), en diciembre de 2014.
- Pide al Órgano Subsidiario de Ejecución que, a más tardar en su 47.º período de sesiones (noviembre-diciembre de 2017), examine los resultados de estas reuniones.

Decisión 11/CP.19: Modalidades de los sistemas nacionales de monitoreo forestal. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Afirma que las actividades señaladas en esta decisión se realizan en el contexto de la prestación de un apoyo adecuado y previsible a las Partes que son países en desarrollo.
- Decide que el desarrollo de los sistemas nacionales de monitoreo forestal deberían tener en cuenta la orientación y directrices más recientes del IPCC aprobadas o impulsadas por la COP.
- Decide también que los sistemas nacionales de monitoreo forestal deberían proporcionar datos e información transparentes, coherentes a lo largo del tiempo y que permitan la MRV, así como basarse en sistemas existentes mientras se es flexible y se permiten mejoras.

Decisión 12/CP.19: Calendario y frecuencia de la presentación del resumen de la información sobre la forma en que se están abordando y respetando todas las salvaguardas expuestas en la Decisión 1/CP.16, apéndice I. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Conviene que el resumen de la información sobre la forma en que se estén abordando y respetando todas las salvaguardas expuestas en la decisión I/CP.16, apéndice I, durante la implementación de las actividades a las que se hace referencia en la Decisión I/CP.16, párrafo 70, también podrán presentarse, de forma voluntaria, a través de la plataforma web de REDD.
- Decide que las Partes que son países en desarrollo empezarán a proporcionar el resumen de la información una vez se hayan comenzado a ejecutar las actividades mencionadas en la Decisión I/CP.16, párrafo 70.
- Decide también que las presentaciones posteriores del resumen de la información se efectuarán con una frecuencia compatible con las disposiciones relativas a la presentación de las comunicaciones nacionales y, de forma voluntaria, a través de la plataforma web de REDD.

Decisión 13/ CP.19: Directrices y procedimientos para la evaluación técnica de las comunicaciones presentadas por las Partes sobre los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal propuestos. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Decide que todas las comunicaciones sobre los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal se someterán a una evaluación técnica.
- Invita a las Partes y a las organizaciones intergubernamentales pertinentes a que apoyen el fomento de la capacidad en relación con la preparación y la determinación de los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal.
- Aprueba las directrices y los procedimientos para la evaluación técnica, tal como aparece en el anexo a esta decisión.

Decisión 14/ CP.19: Modalidades para la medición, notificación y verificación. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Decide que la medición, reporte y verificación de las emisiones antropogénicas por las fuentes y la absorción antropogénica por los sumideros relacionadas con los bosques, de las reservas forestales de carbono y los cambios en la superficie forestal deben ceñirse a la orientación metodológica impartida en la Decisión 4/CP.15, y a las orientaciones que acuerde la COP por parte de los países Parte que son países en desarrollo para medir, reportar y verificar las medidas de mitigación apropiadas para cada país.
- Decide que los datos y la información se deben presentar por medio de un anexo técnico a los informes bienales de actualización, subrayando que la presentación del anexo técnico tiene carácter voluntario y se hace en el contexto de los pagos basados en los resultados.
- Decide además incluir a dos expertos en la buena práctica para el uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS) en el equipo técnico de expertos para las consultas internacionales y el análisis de las medidas basadas en resultados notificadas en un anexo técnico a los informes bienales de actualización, y conviene que estos expertos en UTCUTS desarrollarán un informe técnico sobre sus análisis del anexo técnico y las áreas identificadas para una mejora técnica.
- Conviene también en que las medidas basadas en los resultados a las que se les puedan aplicar los enfoques de mercado apropiados que la COP podría desarrollar podrán estar sujetas a toda otra modalidad de verificación específica.

Decisión 15/ CP.19: Lucha contra los factores impulsores de la deforestación y la degradación forestal. Entre otras cuestiones, en esta decisión la COP:

- Alienta a las Partes, las organizaciones y el sector privado a tomar medidas para reducir los factores impulsores.
- Alienta también a proseguir la labor de lucha contra los factores impulsores y a compartir la información.

- Alienta además a que las Partes que son países en desarrollo a tomar nota de la información compartida

El Marco de Varsovia para REDD+ supuso otro hito para REDD, ya que sirvió para identificar opciones para la financiación y destacó la coordinación del apoyo. Además, el Marco abordó claramente diversas actividades de SNMF, ofreció orientación sobre las salvaguardas, y abordó también los factores impulsores de la deforestación y la degradación forestal. Hay dos temas pendientes importantes que se abordarán en futuras COP, y que incluyen la necesidad de incentivar completamente los beneficios no relacionados con el carbono de REDD+ y de destacar los beneficios de REDD+ en lo relativo a la mitigación y la adaptación.

7.1.3 Trabajo metodológico del IPCC sobre los inventarios de GEI

El IPCC es un órgano científico de las Naciones Unidas establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Su mandato consiste en proporcionar al mundo una visión científica clara del estado actual del conocimiento sobre el cambio climático y sus posibles efectos ambientales y socioeconómicos. Para ello, el IPCC revisa y evalúa las investigaciones científicas, técnicas y socioeconómicas más recientes que se hayan llevado a cabo en todo el mundo, pero el propio IPCC no realiza investigaciones de ningún tipo ni monitorea datos o parámetros relacionados con el clima.

Para acometer su trabajo, el IPCC se organiza en tres grupos de trabajo (GT), que se encargan de realizar evaluaciones de lo siguiente: la base de las ciencias físicas (Grupo de Trabajo 1); los efectos, la adaptación y la vulnerabilidad (Grupo de Trabajo 2); y la mitigación del cambio climático (Grupo de Trabajo 3). En la Figura 7.2 se muestra un esquema con la estructura del IPCC. Se pueden crear otros grupos de tareas especiales y grupos directivos para tratar temas o preguntas específicos.

Además de los tres grupos de trabajo, el IPCC ha establecido el un grupo especial sobre Inventarios de Gases de Efecto Invernadero para supervisar el Programa de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero del IPCC (NGGIP). Su actividad principal gira en torno al desarrollo y el refinamiento de metodologías acordadas internacionalmente y de un programa de software para calcular y reportar las emisiones y absorciones de GEI de cada país, y para alentar a que lo usen los países participantes en el IPCC y las Partes de la CMNUCC. El NGGIP también estableció y mantiene la base de datos de factores de emisión del IPCC (EFDB) de los que se ha hablado en el Capítulo 3.

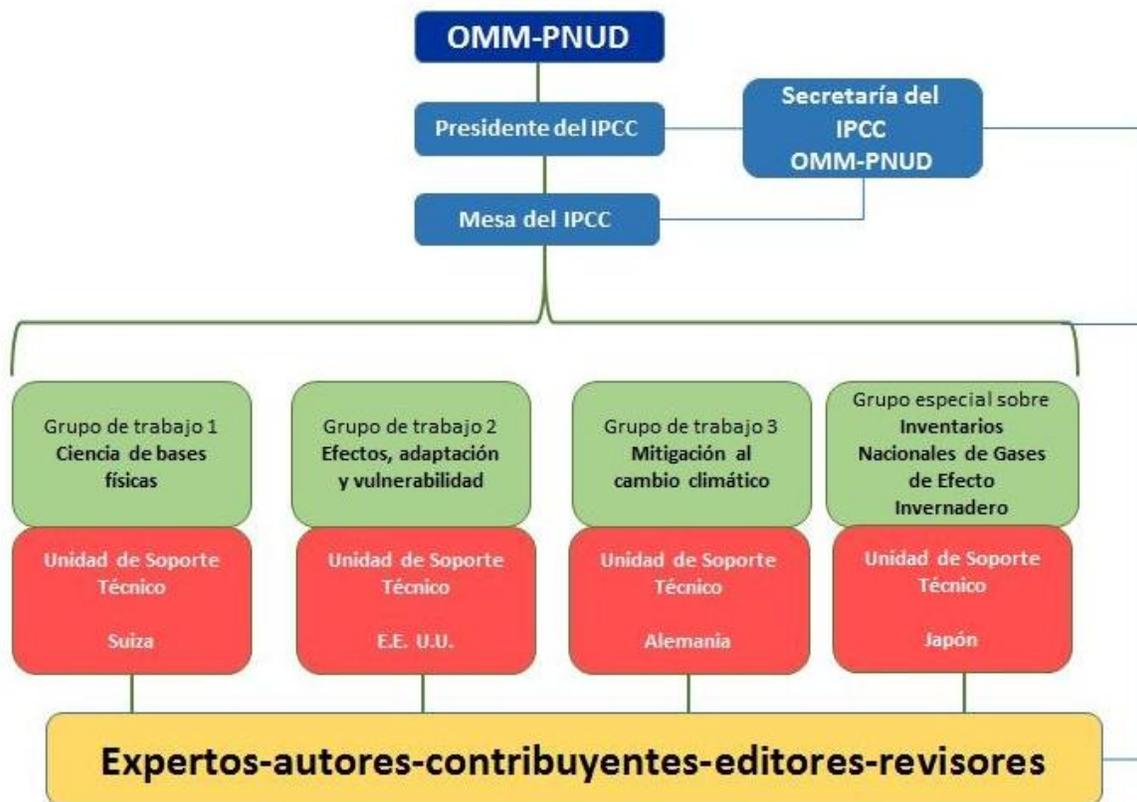


Figura 0.2: Estructura y funciones del IPCC (fuente: IPCC TFI)

7.1.4 Historia de las directrices metodológicas y la orientación del IPCC

Desde su creación a principios de la década de 1990, el IPCC ha desempeñado un papel clave en el desarrollo de directrices metodológicas y la orientación que, con el paso de los años, se han convertido en la piedra angular de todo el trabajo sobre inventarios de GEI. En concreto:

- En noviembre de 1994, el IPCC aprobó la primera versión de la orientación revisada de 1996 del IPCC para los inventarios nacionales de GEI. Se trataba de la primera metodología aceptada internacionalmente que se convirtió en la base para el desarrollo de los inventarios nacionales de GEI en el marco de CMNUCC.
- La orientación revisada de 1996 del IPCC para los inventarios nacionales de GEI incluyen metodologías revisadas y datos por defecto para seis sectores principales: energía, procesos industriales, utilización de disolventes y otros productos, agricultura, UTCUTS y desechos. Además, se incluyeron metodologías para la evaluación de halofluorocarbonos, hidrocarburos perfluorados, hexafluoruro de azufre, ozono y precursores de aerosoles, y GEI directos (CO₂, metano [CH₄], dióxido de nitrógeno [N₂O]).
- En respuesta a las peticiones de la CMNUCC, el IPCC desarrolló la Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (OBP 2000), que abordaba todos los sectores mencionados anteriormente excepto al cambio en el uso de la tierra y la silvicultura, y la OBP-UTCUTS en los años 2000 y 2003 respectivamente. Estos dos documentos no reemplazan, sino que complementan, la información

de la Orientación revisada de 1996, y proporcionan una buena orientación sobre las buenas prácticas relativas a la metodología de estimación, mejoras de los métodos y asesoramiento sobre cuestiones intersectoriales, incluidas la estimación de incertidumbres, la coherencia de series cronológicas y el aseguramiento de la calidad y el control de calidad (QA/QC).

- Las Directrices para los inventarios nacionales de GEI del 2006 son un desarrollo en la evolución del desarrollo que empieza con la orientación revisada de 1996, la OPB 2000 y la OBP-UTCUTS. Los cambios más significativos están reflejados en el volumen 4, que consolida el enfoque al UTCUTS en la OBP-UTCUTS y el sector de la agricultura en la OBP 2000 en un único volumen sobre agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés).

Recuadro 7.4: Directrices para la presentación de información sobre los niveles de referencia (Anexo a la Decisión 12/CP.17)

Cada Parte que sea un país en desarrollo y tenga la intención de emprender las medidas enumeradas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16, debería incluir en su comunicación información transparente, completa⁽¹⁾, coherente con la orientación convenida por la Conferencia de las Partes (COP) y exacta a los efectos de permitir una evaluación técnica de los datos, las metodologías y los procedimientos utilizados en la elaboración de un nivel de referencia de las emisiones forestales y/o un nivel de referencia forestal. La información proporcionada debería guiarse por las orientaciones y directrices más recientes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, adoptadas o alentadas, según proceda, por la COP, e incluir:

- (a) La información que fue utilizada por las Partes para elaborar un nivel de referencia de las emisiones forestales y/o un nivel de referencia forestal, con datos históricos, de manera íntegra y transparente;
 - (b) La información transparente, completa, coherente y exacta, incluida la información metodológica, que se utilizó al elaborar los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal, con inclusión de, entre otras cosas y según proceda, una descripción de los conjuntos de datos, enfoques, métodos, modelos, en su caso, y supuestos empleados, las descripciones de las políticas y planes pertinentes y las descripciones de los cambios existentes con respecto a la información presentada anteriormente;
 - (c) Los reservorios y gases y las actividades enumeradas en el párrafo 70 de la decisión 1/CP.16, que se incluyeron en los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal, y las razones de la omisión de un reservorio y/o una actividad en la elaboración de los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal, teniendo en cuenta que no deben excluirse los reservorios y/o actividades significativos;
 - (d) La definición de bosque utilizada al elaborar los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal, y, según proceda, en el caso de que haya una diferencia con la definición de bosque utilizada en el inventario nacional de gases de efecto invernadero o en los informes presentados a otras organizaciones internacionales, una explicación de por qué y cómo se eligió la definición utilizada al elaborarse los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal.
- (1) Por "completa" se entiende una información que permita la reelaboración de los niveles de referencia de las emisiones forestales y/o los niveles de referencia forestal.

El sector del uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS) ha evolucionado significativamente desde la orientación revisada de 1996 y la Orientación del IPCC del 2006 (ver las Figura 3.1 en el Capítulo 3). Estos cambios son resultado de una mejor comprensión del sector de la disponibilidad de investigación de carácter más científico.

7.1.5 Otros procesos no relacionados con la ONU

Además de los países que se preparan para la aplicación nacional de REDD+, se ha avanzado a nivel subnacional en el contexto de los mercados de carbono de carácter voluntario y bajo acuerdos bilaterales. La aplicación subnacional se ha realizado principalmente a nivel de campo, sin embargo, ha

habido algunos progresos al nivel de jurisdicción nacional. En algunos casos, actividades a nivel de campo se desarrollan dentro de jurisdicciones que también se encuentran desarrollando sus propias estrategias de REDD. Para esto, se requiere del desarrollo de un “enfoque anidado” en cuanto a las estrategias REDD+, la contabilización de las reducciones de emisiones y la distribución de créditos de reducción de emisiones.

Estas actividades subnacionales de REDD+ abarcan grupos distintos que proporcionan orientaciones sobre la fijación de niveles de referencia (NR) y aspectos de MRV. Dos grupos que proporcionan estas orientaciones son el grupo del Estándar Verificado de Carbono (VCS, por sus siglas en inglés) y el Registro Estadounidense de Carbono (ACR, por sus siglas en inglés) (ACR, 2013; VCS, 2013). Ambos grupos han proporcionado metodologías técnicas recomendadas para establecer niveles de referencia subnacionales de REDD+ y sus MRV. Se diferencian del IPCC en algunos aspectos, como por ejemplo en las evaluaciones de las reservas de carbono y en los asuntos que más les preocupan, como la transparencia y la replicabilidad. Ambas actividades pretenden alinearse con las orientaciones existentes de la CMNUCC sobre REDD+, y están pensadas para seguir y dar apoyo a las orientaciones adicionales de REDD+ de la CMNUCC, según vayan surgiendo. Estas actividades también han servido de ayuda para proporcionar orientaciones sobre cómo abordar cuestiones particulares de REDD+ jurisdiccional y anidada.

Por ejemplo, dentro de la orientación del VCS y el ACR, una jurisdicción es cualquier región definida políticamente delineada para los propósitos de rastreo de las reservas de carbono, las tasas de deforestación y las reducciones de GEI a través de las actividades de proyectos REDD+. Una jurisdicción puede ser una entidad política nacional o subnacional (nación, estado, provincia, distrito, etc.), pero también son posibles otras formas de definir las fronteras jurisdiccionales. Un proyecto de REDD+ anidado se contabiliza y monitorea en referencia al marco de contabilidad (líneas de base, análisis de fugas, requisitos de monitoreo) en el que el proyecto tiene lugar. Esto puede conllevar el beneficio de reducir los costos de transacción para los proyectos, permitiendo que utilicen la línea de base y otros requisitos desarrollados por la jurisdicción, en vez de tener que desarrollarlos a nivel de proyecto, mientras que se trabaja para ayudar a atraer capital privado para REDD+.

7.2 MONITOREO COMUNITARIO

Autores: Kemen Austin y Fred Stolle

El objetivo de este resumen temático es destacar los posibles beneficios y los procesos requeridos para incorporar el monitoreo comunitario en una iniciativa de monitoreo de REDD+ nacional. Analizamos la bibliografía destacada y los estudios de caso de monitoreo comunitario de biodiversidad, calidad del agua y biomasa forestal, a fin de identificar retos y lecciones comunes en cuanto a REDD+.

7.2.1 Definición de monitoreo comunitario

Según Fernández-Giménez *et al.* (2008): “El monitoreo comunitario supone la implicación directa de los miembros de la comunidad en el monitoreo, ya sea a través de su participación en los esfuerzos colaborativos de monitoreo, o a través de la capacitación y la contratación de miembros de la comunidad para llevar a cabo el monitoreo de proyectos”. En esta revisión, se define al miembro de la comunidad como un residente en una zona de interés, o cerca de esta, y se diferencia a los miembros de la comunidad de consultores externos que viven en otra ciudad, provincia o país. Además, este estudio reconoce que los miembros de la comunidad pueden iniciar el monitoreo comunitario para evaluar las

iniciativas comunitarias tales como el manejo forestal, o por entidades externas que evalúan grandes paisajes o proyectos a escala regional.

El monitoreo comunitario se ha utilizado para examinar distintos elementos forestales, incluida la biodiversidad, las reservas de carbono, puntos culturales de interés y religiosos, índices de extracción ilegal y para evaluar productos de madera y distintos a la madera (Effah *et al.*, 2011). Adicionalmente, está ampliamente reconocido que REDD+, así como otras numerosas iniciativas de políticas nacionales, requerirán el monitoreo de elementos diferentes del carbono tales como las salvaguardas sociales (CMNUCC, 2010). Estos elementos pueden incluir conflictos en las tenencias de las tierras, el respeto por los derechos humanos, la distribución de beneficios y los mecanismos para garantizar la participación. Esta revisión se centra principalmente en el modo en que las comunidades pueden participar en la obtención de datos biofísicos, a la vez que se reconocen otras áreas en las que los miembros de la comunidad pueden contribuir con información valiosa.

7.2.2 Monitoreo comunitario en el contexto de REDD+

Como se ha tratado en capítulos anteriores, el rango de sistemas de MRV y de sistemas de monitoreo forestal que se desarrollan para REDD+ probablemente requerirán el monitoreo de los cambios forestales, las reservas forestales de carbono y las salvaguardas para la conservación de la biodiversidad y el apoyo a los medios de vida (Danielsen y Theilade, 2011).

El monitoreo comunitario se puede incorporar en estos sistemas de monitoreo, y en el Acuerdo de Cancún de la CMNUCC (CMNUCC, 2010) se hace referencia explícita al papel de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Sin embargo, los mecanismos por los cuales las comunidades pueden participar en el monitoreo forestal no han recibido demasiada atención en el contexto de la CMNUCC. En el Cuadro 7.1 se detallan los posibles roles con los que el monitoreo comunitario puede contribuir a un sistema de monitoreo de REDD+ nacional, los que dependerán de diversos factores, entre los que se incluyen: tenencia de la tierra y uso de los recursos por parte de la comunidad, factores de la deforestación y la degradación forestal y los marcos políticos e institucionales.

Componente del sistema de monitoreo	Opciones de monitoreo a nivel nacional	Posible contribución del monitoreo comunitario
Mapeo forestal y estratificación	Mapear bosques basándose en indicadores biofísicos y algunos regímenes de manejo amplios	Mapear bosques basándose en la tenencia comunitaria o el manejo específica del sitio
Monitorear la deforestación y la reforestación	Realizar acciones de detección con sensores remotos Desarrollar un inventario forestal nacional Recopilar información de compañías dedicadas a la silvicultura Calibrar o validar las imágenes obtenidas por satélite, y los mapas derivados, con personal de campo	Observar la ubicación, hora, área y tipo de episodios de cambio (en tiempo casi real) Recopilar mediciones regulares en el terreno en tiempo casi real Calibrar o validar mapas y proporcionar información de verificación independiente
Monitorear la degradación, mejora de las reservas forestales de carbono	Analizar los datos históricos si están disponibles Realizar encuestas sobre el uso de la leña y los productos distintos a la madera (NTPF, por sus siglas en inglés) Desarrollar un inventario forestal nacional	Recopilar mediciones regulares basadas en el suelo de las reservas forestales de carbono y proporcionar información sobre los usos y las actividades de la madera y los productos distintos a la madera de los bosques locales
Estimación de los factores de emisión	Desplegar a personal de campo para recopilar información Confiar en los proyectos de investigación	Recopilar datos de campo a lo largo del tiempo
Identificación de los factores de cambio	Realizar inferencias relativas a los patrones de cambio y la causa probable	Registrar los tipos y patrones de las actividades locales que provocan el cambio Mapear la tenencia, el manejo y los planes del uso de la tierra
Análisis de datos y reportes	Recopilar y estandarizar datos de fuentes nacionales y subnacionales Proporcionar datos al público	Proporcionar datos de validación independientes para realizar reportes a nivel nacional Utilizar los datos para finalidades locales

Cuadro 0.1: Posible papel del monitoreo comunitario en los sistemas de monitoreo nacionales (adaptado de Pratihast y Herold, 2011)

7.2.3 Justificación para el monitoreo comunitario para REDD+

Si bien se considera que la detección por sensores remotos es el método más prometedor para las evaluaciones a escala nacional de los cambios forestales (Patenaude *et al.*, 2005; DeFries *et al.*, 2007; GOF-C-GOLD, 2013), hay limitaciones que requerirán el uso de numerosos métodos basados en el terreno a fin de reportar con exactitud las emisiones provocadas por el cambio forestal y las reducciones de las emisiones desde un programa de REDD+. Será necesario complementar a los métodos basados en la detección por sensores remotos con una variedad de sistemas de monitoreo a nivel local para la calibración y la validación (Schelhas *et al.*, 2010) a fin de desarrollar los factores de emisión y recopilar información sobre los indicadores sociales y culturales.

Fiabilidad

El uso de equipos internacionales de personal especializado para recopilar datos de campo representa un proceso caro; los enfoques que implican a la población local pueden reducir costos, aumentar la frecuencia del monitoreo, proporcionar beneficios tales como capacitación e ingresos por salarios, y posibilitar la recopilación de información sobre medidores de difícil observación.

Algunos estudios recientes han utilizado a miembros de la comunidad y a consultores externos para cuantificar las reservas forestales de carbono a fin de comparar la exactitud del monitoreo comunitario frente a una alternativa de “mejores prácticas” (Van Laake, 2011). Los resultados obtenidos en 30 proyectos desarrollados en 7 países distintos demuestran que no hay diferencias significativas en la exactitud obtenida en estos dos grupos una vez que los miembros de la comunidad han recibido capacitación sobre los métodos requeridos (Van Laake, 2011).

Sin embargo, estos estudios también estiman que los datos recopilados por los miembros de la comunidad pueden presentar una mayor variabilidad y una menor precisión que los datos recopilados por consultores externos con experiencia en inventarios forestales (Skutsch y McCall, 2011). Tal vez este sea el resultado del hecho que los miembros de la comunidad que participan tengan conocimientos de experto de su propio entorno y sus propios recursos, pero al mismo tiempo un conocimiento especializado menos sofisticado sobre la recopilación de datos (Skutsch y McCall, 2011).

Rentabilidad

El monitoreo forestal supone uno de los mayores costos relacionados con REDD+ en los países en desarrollo. Por ese motivo, resulta crucial identificar maneras para reducir los costos (Skutsch *et al.*, 2011). Un estudio llevado a cabo por Larrazábal *et al.* (2011) estimó que los costos del monitoreo comunitario se encontraban entre un tercio y la mitad del costo del monitoreo realizado por consultores externos (incluidos los costos de capacitación). Otros estudios estiman que, a largo plazo, los costos del monitoreo comunitario son mucho menores en comparación con los costos derivados de los viajes y los salarios de consultores externos (Rist *et al.*, 2010; Topp-Jørgensen *et al.*, 2005; Danielsen *et al.*, 2011). Sin embargo, los costos de monitoreo dependen de muchos factores, incluidos la frecuencia y la escala a la que se realiza el monitoreo, así como los costos de oportunidad para los encargados del monitoreo.

Es importante destacar que una gran parte de los costos relacionados con el monitoreo comunitario se producen en las primeras etapas del proyecto o de la iniciativa que se esté llevando a cabo (Effah *et al.*, 2011). Estos costos incluyen la compra del equipo, establecer parcelas permanentes de muestreo, y por actividades de capacitación. Por lo tanto, dado que estos costos son constantes y no dependen del tamaño o el marco temporal del proyecto, el monitoreo comunitario resulta rentable para áreas extensas y proyectos que aspiran a realizar monitoreo durante un período de varios años (Effah *et al.*, 2011). Un estudio existente sugiere que para equilibrar es necesario un tamaño mínimo de 100

hectáreas, por los costos de transacción del establecimiento de un sistema de monitoreo comunitario (Danielsen *et al.*, 2011).

Frecuencia

El monitoreo forestal para REDD+ requerirá una recopilación periódica de información, a intervalos adecuados según el tipo de bosque y el régimen de manejo. Los miembros de la comunidad en las áreas de interés y a su alrededor se encuentran en una buena posición para monitorear durante largos períodos de tiempo y con mayor frecuencia que otras opciones, como por ejemplo una entidad nacional de servicio forestal o acudir a consultores técnicos (Rist *et al.*, 2010). Si se realiza un monitoreo más frecuente de las condiciones y los cambios forestales, se puede mejorar la fiabilidad estadística y científica de los datos resultantes, concretamente en los bosques que se enfrentan a cambios rápidos (Danielsen *et al.*, 2011).

Sensibilidad al contexto local

Es posible que los miembros de la comunidad conozcan su entorno local, lo que incluye también el conocimiento de variaciones a pequeña escala del manejo (Dalle *et al.*, 2006). Además, los miembros de la comunidad suelen tener conocimientos sobre los factores que provocan los cambios forestales locales (Van Laake, 2011). Como resultado de ello, las comunidades se encuentran en una buena posición para observar los efectos en el bosque y el carbono forestal provocados por parte del ser humano, y también para determinar la influencia del manejo o de la implementación de políticas.

Comprender los efectos sociales y culturales

El éxito de REDD+ dependerá del monitoreo forestal exacto y transparente de las emisiones y absorciones y, por otro lado, de los elementos que no sean carbono, como las salvaguardas detalladas en los Acuerdos de Cancún (CMNUCC, 2010). Los miembros de la comunidad se encuentran en una buena posición para recopilar información sobre una mayor variedad de métricas aparte del carbono, que pueden ser necesarias para REDD+ o para la aplicación de políticas de manejo forestal nacional (Pratihast y Herold, 2011). Estas métricas incluyen información socioeconómica (p. ej., el uso de la energía de la biomasa, la producción de alimentos), de gobernanza (p. ej., los procesos de distribución de beneficios, los mecanismo de participación en la toma de decisiones) y de biodiversidad (p. ej., observaciones de especies, cambios de hábitat).

Concesión de beneficios a las comunidades

Involucrar a las comunidades comunitarias locales en el monitoreo forestal puede resultar en beneficios adicionales tales como la transparencia, una mayor apropiación de las acciones de mitigación, mejores salvaguardas sociales y ambientales, el resaltar la importancia cultural de los enfoques de monitoreo, la mejora de las capacidades de las instituciones locales, acceso a recursos y oportunidades de empleo (Danielsen *et al.*, 2011). Por lo tanto, la participación de los miembros de la comunidad puede provocar que haya una sostenibilidad de intervenciones a largo plazo, así como de las iniciativas de monitoreo. El Cuadro 7.2 muestra el debate entre la ventaja comparativa de las comunidades locales en proyectos de monitoreo forestal.

Componente de monitoreo	Consultores externos	Miembros de la comunidad local
Costos	Elevados; incluye honorarios profesionales, gastos de viaje y de alojamiento	Gastos iniciales de preparación y de capacitación elevados seguidos a partir de ahí por un salario, gastos de viaje y alojamiento relativamente bajos
Conocimiento local	Normalmente bajo, suelen ser necesarios guías y traductores	Bueno: los residentes suelen conocer bien la zona en lo relativo a los accesos, la logística, las autoridades locales, las leyes y las especies autóctonas
Calidad de los datos	Buena	Buena: depende de una capacitación adecuada y la verificación de datos
Coherencia:	Potencialmente baja si no son los mismos consultores los que pueden realizar el monitoreo durante toda la duración del proyecto, o si no se siguen siempre los mismos métodos	Potencialmente alta si se pueden mantener los mismos miembros del equipo o, como mínimo, el mismo equipo de coordinación
Frecuencia e intensidad	Normalmente bajas. Resulta muy costoso que los expertos externos pasen largos períodos de tiempo en el terreno, o que regresen para desarrollar mediciones con frecuencia	Elevadas. Incluso si la obtención de muestras se realiza a tiempo parcial, el ahorro en gastos de viaje y tiempo de preparación es importante, y el monitoreo se puede realizar con frecuencia
Beneficios adicionales	Bajos. Normalmente se limitan a aportaciones técnicas	Elevados. Si la población local es la encargada de realizar el monitoreo se logra una mayor implicación, se suma valor a la capacidad de los residentes locales, y se ofrecen oportunidades para mejorar el manejo
Gestión	Se espera que sea buena	Posibles áreas de preocupación en muchas comunidades
Capacitación inicial	Baja. Se da por hecho que los equipos profesionales requieren poca preparación	Elevada. Se necesita más tiempo para identificar, capacitar y equipar a los equipos
Recopilación de otros datos	Normalmente es mala. Resulta muy complicado entender la situación socioeconómica y cultural local, se necesita mucho tiempo para recopilar los datos	Buena. Hay conocimiento intrínseco de la economía y la cultura local, es fácil recopilar información y monitorear cambios

Cuadro 0.2: Ventajas e inconvenientes del monitoreo comunitario en comparación con el monitoreo por parte de expertos (de Knowles et al., 2010; adaptado de Larrazábal et al., 2011)

7.2.4 Lecciones aprendidas en estudios de caso

Esta sección presenta un resumen de casos en los que las comunidades han sido involucradas en el monitoreo forestal, tanto para REDD+, como para otras métricas que pueden ser relevantes en un programa de REDD+. Además, se tratan también los retos y lecciones comunes para pasar a un nivel nacional. Estos casos se resumen en el Cuadro 7.3.

Monitoreo a nivel local frente a monitoreo externo

Muchos de los estudios examinaron la aplicación del monitoreo comunitario en una comunidad en la que se había iniciado (o se estaba en proceso de hacerlo) un sistema para gestionar los recursos forestales de bien común (Topp-Jørgensen *et al.*, 2005; Mukama *et al.*, 2012; Hartanto *et al.*, 2002). En este caso, el monitoreo es utilizado como mecanismo para llevar un registro del rendimiento de las iniciativas de manejo esto se conoce a veces como *monitoreo local autónomo* (Danielsen *et al.*, 2008). El alcance de las iniciativas de monitoreo local se adapta a las necesidades locales, y normalmente no es tan profundo como el que será necesario para el monitoreo de REDD+. Sin embargo, si hubiera los incentivos y la capacitación adecuados, el monitoreo comunitario podría ampliarse para incluir el monitoreo colaborativo de las reservas de carbono y de los flujos que forman parte de los requisitos para REDD+ impulsada a nivel externo (Lawrence y Elphick, 2002).

También hay casos en los que el monitoreo comunitario se inicia para realizar inventarios nacionales o con fines de investigación nacional (Skutsch y Trines, 2011). A este tipo de monitoreo también se le conoce como *monitoreo micro-macro* (Ojha y Bhattarai, 2003) y como *monitoreo externo con recopilación de datos local* (Danielsen *et al.*, 2008). Algunos ejemplos incluyen el sistema Event Book de monitoreo comunitario de recursos naturales en Namibia (Stuart-Hill *et al.*, 2005) y los censos de aves en Kenia (Bennun *et al.*, 2005). Este tipo de monitoreo será importante para REDD+, que requerirá que se monitoreen las ganancias y las pérdidas de área forestal, así como el monitoreo del cambio de reservas en grandes paisajes (Skutsch y Solis, 2011). A pesar de todo, en los casos en los que los miembros de la comunidad aún no estén implicados activamente en el manejo forestal, podría ser necesario disponer de suficientes recursos y capacitación desde el principio para poder establecer de manera eficaz un sistema de monitoreo comunitario.

Estándares y protocolos

Para el monitoreo de REDD+ será necesario recopilar datos de manera coherente y comparable en las distintas jurisdicciones subnacionales. Para lograr recopilar datos con solidez y coherencia, es necesario desarrollar estándares y protocolos que sean fáciles de aprender y de aplicar por parte de las comunidades locales. Stuart-Hill *et al.* (2005) presenta un ejemplo en el que destaca la armonización exitosa de la ampliación de la recopilación de datos. Los autores presentan un caso de Namibia en el que a las comunidades se les proporcionó orientaciones para la recolección de datos adaptable a su situación, pero a la vez estandarizada. Las comunidades participantes utilizaron los mismos métodos y, por ese motivo, fue posible agregar los datos y compararlos a nivel nacional.

Fomento de las capacidades

La bibliografía que existe sobre el monitoreo comunitario demuestra que los miembros de la comunidad pueden recopilar datos fiables sobre los bosques después de haber recibido capacitación. Esta capacitación puede incluir áreas como los métodos de inventario forestal, registro de datos y el uso del equipo (p. ej., mapas, unidades de sistema de posicionamiento global [GPS, por sus siglas en inglés], cámaras). Por ejemplo, mediante el programa de investigación y fomento de las capacidades *Kyoto: Think Global, Act Local* (K:TGAL), que potencia que se piense a nivel global y se actúe a nivel local, se aprendió que la capacitación se puede realizar en un período breve de tiempo; de hecho, puede bastar incluso con una capacitación de una semana en el campo para recopilar datos para inventarios forestales (Skutsch *et al.*, 2009).

La bibliografía de Effah *et al.* (2011) (2011) sugiere que una aplicación escalonada al monitoreo comunitario puede ser la opción más eficaz. Este sistema permitiría que el participante primero adquiriera la capacidad para poder realizar monitoreo forestal a través de una capacitación intensiva y un enfoque práctico en el que aprendiera poniendo en práctica lo aprendido, y en el que los consultores externos transmitieran los principios y las tareas a los miembros de la comunidad. Posteriormente, los

consultores pueden encargarse de la supervisión y de dar apoyo a tareas más complejas, como el muestreo estadístico, utilizar equipo informático complejo y establecer parcelas permanentes de muestreo (Skutsch y Trines, 2011).

Incentivos

Hay pocas probabilidades de que el monitoreo comunitarios sea sostenible, a no ser que los beneficios de participar en un programa de monitoreo superen a los costos (Skutsch *et al.*, 2011). A fin de incentivar el monitoreo forestal, será necesario apoyo externo en forma de salarios y de formación de capacidades para el empleo (Evans y Guariguata, 2008; Rist *et al.*, 2010). Los estudios de caso que aquí se examinan proporcionaron entre 1 y 7 dólares estadounidenses (USD) a los participantes. Sin embargo, solamente dos de los estudios observaron si estos costos bastarían para superar los costos de oportunidad de sueldos bajos, y en ambos casos se descubrió que la cantidad proporcionada no era suficiente (Andrianandrasana *et al.*, 2005; Mukama *et al.*, 2012). Esto indica que las estructuras de pago existentes pueden no ser suficientes para apoyar el monitoreo comunitario a largo plazo.

Equipos y sistemas técnicos

Todos los estudios de casos examinados utilizaron tecnología avanzada de algún tipo, como sistemas de GPS o *software* informáticos, para recopilar y almacenar los datos. McCall (2011) argumenta que estas tecnologías colocan a la par el conocimiento local en comparación con el conocimiento de los expertos que vienen de fuera. Entre otros, los beneficios de utilizar estos sistemas incluyen: exactitud, menor pérdida de datos, recopilación sistemática de datos, simplificación de la validación, captura de recursos como fotos y grabaciones, desarrollo de las capacidades de los participantes y más facilidad a la hora de compartir datos (Parmer Fry, 2011).

En función de las circunstancias del área de estudio, tales como la electricidad o la disponibilidad de Internet, o también el grado con el que los miembros de la comunidad se sientan cómodos con las plataformas de *software* más sofisticadas, se pueden utilizar distintos enfoques en lo relativo al uso de tecnologías avanzadas. Por ejemplo, el programa SocioBosque en Ecuador aborda el tema de la exposición a teléfonos celulares dotados de sistema GPS agrupando en equipos de monitoreo a guardabosques, cazadores y una mezcla de jóvenes y mayores elegidos por la comunidad. Al incluir una sección variada de la comunidad, el conocimiento y los puntos fuertes de cada participante pueden compartirse con los demás miembros del grupo. Los guardabosques se sienten cómodos con la tecnología, los participantes jóvenes aprendieron a utilizar los sistemas con más rapidez, y los miembros mayores y los cazadores tenían más experiencia a la hora de identificar a las especies y también un mayor conocimiento histórico (Cerdeña, 2012).

Evaluación y control de calidad

A fin de incorporar el monitoreo forestal en un inventario nacional de GEI y un sistema de reporte, es necesario instaurar un sistema de control de calidad para evaluar la exactitud de los datos recopilados por los miembros de la comunidad local. Por ejemplo, en el proyecto Scolel Tè de México, el personal técnico del proyecto verifica el 10 % del monitoreo comunitario. Si se identifican incoherencias o inexactitudes, se proporciona más capacitación (Scolel Tè, 2008).

Gestión de datos y sistemas de agregación

Para que los datos de los sistemas de monitoreo local sean útiles a mayor escala geográfica, es necesario disponer de un sistema de base de datos que permita cargar y compartir los datos locales (Pratihast y Herold, 2011). Effah *et al.* (2011) descubrió que en un gran número de proyectos se agregaron exitosamente los datos de jurisdicciones subnacionales a una base de datos central. Por ejemplo, el proyecto Sofala Community Carbon Project en Mozambique aportará datos sobre reservas forestales de carbono para el inventario nacional de GEI de Mozambique (Envirotrade, 2010).

Además, los sistemas de manejo de datos se deben diseñar de manera que se garantice que los datos recopilados por los miembros de la comunidad local se gestionan de manera segura, y definiendo con claridad el uso que se dará a la información recopilada (CIGA-REDD, 2011). También es importante que los miembros de la comunidad retengan esos datos para que puedan utilizarlos en sus propios procesos de toma de decisiones (Stuart-Hill *et al.*, 2005). Se suelen enviar los datos a niveles superiores para analizarlos y que se puedan utilizar para el manejo, pero los resultados de este análisis y las implicaciones más amplias que los datos puedan tener no se comunican a las comunidades con claridad (Ojha y Bhattarai, 2003). Proporcionar comentarios y respuesta contribuirá a mejorar la planificación, permitirá a las comunidades evaluar los intercambios entre usos forestales alternativos y permitirá la evaluación de los efectos del manejo sobre los recursos forestales.

7.2.5 Conclusión

El monitoreo comunitario puede cumplir varios papeles en el futuro de REDD+, una vez que los países evalúen los derechos, funciones y relaciones entre las comunidades y el contexto social, cultural y ambiental. A la hora de diseñar los componentes comunitarios del monitoreo de REDD+, hay que tener en cuenta distintas consideraciones: consultar con las comunidades el propósito del monitoreo para REDD+, desarrollar procesos claros para implicar a las comunidades, diseñar sistemas para compartir información que integren los procesos de salvaguardas (sociales y ambientales) de REDD+, y proporcionar el fomento de las capacidades en actividades de monitoreo comunitario, así como una evaluación periódica de la calidad de las mismas.

Tal como se ha tratado anteriormente, las investigaciones recientes han demostrado que la recopilación de datos mediante el monitoreo comunitario puede ser tan fiable y relevante a nivel de políticas como los datos recopilados por los consultores técnicos externos. Además, el monitoreo que llevan a cabo los miembros de la comunidad posibilita y sirve de apoyo a su participación en el desarrollo y la aplicación de estrategias REDD+ nacionales, un mandato explícito de los Acuerdos de Cancún (párrafo 7.2). Finalmente, si bien el monitoreo comunitario puede contribuir en un sistema de MRV de REDD+ a nivel nacional, el sistema debe contar con el apoyo de disponer los incentivos, estándares, sistemas de agregación de datos y fomento de las capacidades adecuados.

Cuadro 0.3: Estudios de caso de monitoreo comunitario

Estudio de caso	Dónde	¿Qué información se reunió?	¿Quién se encargó de realizar el monitoreo?	¿Qué estándares se siguieron?	¿Qué equipo se utilizó?	¿Qué capacitación se proporcionó a los participantes?	¿Qué incentivos se dieron a los encargados del monitoreo?	¿Quién realizó la recopilación y el análisis de datos?	¿Cómo se agregaron los datos al nivel nacional o regional?	¿Qué costo tuvo el proyecto?	Resumen
Holck 2008	Uluguru North Forest Reserve (reserva forestal), en Tanzania	Diámetro de los árboles a la altura del pecho, área basal, alteraciones (determinadas por los incendios, los cortes y los tocones).	Cuatro participantes elegidos de cada aldea (dos miembros del comité medioambiental del pueblo, dos miembros de WCS Tanzania).	Tres métodos para monitorear las perturbaciones de la flora: los métodos de los 20 árboles, el método del relascopio de Bitterlich y el transecto de lista de comprobación de las perturbaciones.	Cintas de medición, bolígrafo y papel, relascopio de Bitterlich, cuerdas.	Capacitación de medio día y de un día, y algo de supervisión de seguimiento.	Los participantes recibieron aproximadamente 6,25 USD por día; además, la participación proporcionó conocimiento y prestigio.	Autores del estudio.	Sin agregación.	Una vez que se realiza la capacitación, se estima que los costos para monitorear las perturbaciones forestales están entre 0,04 USD y 0,12 USD/ha/año.	Los participantes con un día entero de capacitación y supervisión recopilaron unos datos similares a los de sus homólogos "expertos", los costos del monitoreo local permitirían una recopilación de datos más frecuente y sostenible.
Topp-Jørgensen et al., 2005	Distrito de Iringa, en Tanzania	Uso de los recursos, perturbaciones, abundancia de especies indicadoras, información sobre el uso de los recursos, registros de permisos y honorarios de los usuarios, registros de reuniones y sesiones de capacitación.	Comités de recursos naturales de la aldea (VNRC, por sus siglas en inglés).	Protocolos desarrollados localmente.	No especificado.	Orientación para desarrollar el sistema proporcionado por el gobierno del Distrito y el Programa de Ayuda Danés.	A los encargados del monitoreo se les paga 1 USD/día. Otros incentivos incluyen el reconocimiento del valor para la calidad del agua y un mayor prestigio.	Comités de recursos naturales de la aldea (VNRC, por sus siglas en inglés).	Mensualmente se reportaban los datos del monitoreo y las decisiones de gestión local a niveles administrativos más elevados, y todos los registros están públicamente disponibles en la aldea.	Se estima que 3 millones de dólares para todo el proyecto; no se especifica qué parte en concreto se destinó a establecer el sistema de monitoreo.	Los comités de recursos naturales de la aldea (VNRC) gestionaron el monitoreo y el análisis de los datos y, como resultado, fueron capaces de tomar decisiones de gestión con rapidez basándose en esa información.

Danielsen <i>et al.</i> , 2000	Tres áreas protegidas: Northern Sierra Madre, Bataan, M. Kitanglad (Filipinas)	Cambio en el número y frecuencia de avistamientos de especies designadas y en el uso de recursos, cambio en el tamaño de tipos de vegetación, cambio en el volumen de recolecta percibida en actividades que provocan un impacto en la biodiversidad.	Entre 24 y 26 miembros de personal por parque, incluidos el superintendente del parque, las ONG anfitrionas, los guardas forestales locales y los miembros de la comunidad.	Se desarrollaron múltiples métodos: diario de campo, documentación a través de fotografías, paseos de transecto, grupos de discusión. Se desarrollaron estándares y métodos a través de un proceso nacional colaborativo y de pruebas de campo. Se preparó un manual para cada método de campo e indicador.	Libreta, bolígrafo, guía del terreno, binoculares, cámara, brújula, carrete, altímetro, GPS, pintura, reloj, fichas de datos, cuerda, cinta métrica.	La capacidad se creó a lo largo de un período de tres años. Las partes implicadas en el desarrollo y la comprobación de metodologías. Se realizaron con regularidad visitas por parte de expertos externos para proporcionar ayuda y supervisión.	Se pagaron salarios al personal del parque; cantidad no especificada.	Todo el personal del parque se encarga de recopilar los datos. El jefe de la zona protegida reúne y analiza los datos, y directamente toma decisiones de gestión basadas en el resultado.	El sistema para monitorear las áreas protegidas se reprodujo en otras áreas protegidas prioritarias durante la redacción.	No especificado.	Es importante destacar que el personal responsable del monitoreo es distinto del personal que se encarga de aplicar las medidas (a fin de implicar a las comunidades locales de manera efectiva). Involucrar al personal de parque a través del desarrollo y comprobación de metodologías es clave para hacerlas propias y para lograr una capacidad a largo plazo.
Andrianandrasana <i>et al.</i> , 2005	Humedales de Alaotra, en Madagascar	Datos sobre lémures, aves acuáticas, capturas de peces, áreas de pantanos, índices de caza.	Organizado por el Durrell Wildlife Conservation Trust. Equipos de 10 lugareños y 7 técnicos (de los servicios forestales y de agua regionales, servicios de pesca y ONG para el desarrollo).	Datos recolectados mediante transectos, entrevistas, observaciones de las capturas, y la observación e identificación de las especies. Se utilizaron métodos estándar en 16 emplazamientos.	Canoa, mapas, binoculares, GPS, brújula, guía de campo de aves, balanzas, planos de gestión del emplazamiento, guía de campo sobre los lémures.	Los participantes en el monitoreo reciben capacitación al principio y se les vuelve a contratar los años posteriores. No hay más detalles sobre el tipo de contenido que se proporcionó en la capacitación.	Los participantes ganaban 2 USD/día, que suponen unos ingresos menores que con la pesca. Pudo resultar atractivo porque el empleo otorgaba un estatus especial como experto técnico.	La información se presentó al público en general mediante reuniones de la comunidad y a través de la radio.	Los datos del monitoreo se presentaron oralmente al público, y las autoridades locales conservaron las fichas de datos.	Todos los costos ascendieron aproximadamente a 5.000 USD/año (0,21 USD/ha/año).	Las autoridades locales demostraron una respuesta flexible a la información recopilada; por ejemplo, se redujeron incendios en los pantanos a lo largo del proyecto.

Bennun <i>et al.</i> , 2005	49 emplazamientos en Kenia	Eficacia de las áreas de conservación de las áreas importantes para la conservación de las aves (IBA, por sus siglas en inglés) a través del monitoreo de poblaciones de especies relevantes y las amenazas a estas especies (incluido el área de su hábitat, la deforestación, la cantidad de miembros del personal para la conservación).	Personal del "Grupo de apoyo en el campo" de Bird Life: socios autónomos locales de Bird Life International representados por personal gubernamental y "otros miembros como conocimientos"	Las IBA proporcionan formularios con indicadores (p. ej., calidad del hábitat, cantidad de personal de conservación) y espacio para la mejora o el deterioro de la puntuación de ese indicador. Además, se alienta a realizar un monitoreo detallado específico del terreno, en el que el método varía según el lugar.	No especificado.	No especificado.	No especificado; Bird Life International destina algo de apoyo financiero a los grupos de apoyo en el campo.	Las unidades centrales de IBA recopilan datos, los comprueban y añade más investigación para desarrollar una puntuación general de mejora o deterioro de los indicadores.	Bird Life International prepara informes del estatus de las IBA para cada una de estas áreas. Además, Bird Life International también reenvía el informe de cada país al secretariado internacional a fin de compilar una base de datos mundial.	No especificado.	Este método es subjetivo y resulta difícil estandarizarlo, algo que Bird Life International ha reconocido y por lo que está trabajando para mejorarlo.
Poulsen y Luanglath, 2005	Área de conservación de la biodiversidad de Xe Pian, en Laos	Se centra en una lista de especies prioritarias, entrevistas a los lugareños para determinar las percepciones del estatus y las tendencias de las especies de aves perseguidas y los productos forestales que no son madera, monitoreo conjunto por parte de los lugareños y del personal del área protegida.	Según el método, se seleccionaron equipos de 2 a 6 lugareños seleccionados durante una reunión de la aldea, y miembros de personal del área protegida.	La Wildlife Conservation Society (Sociedad para la conservación de la fauna o WCS, por sus siglas en inglés), junto con los lugareños y el personal del área de conservación, estableció un método de monitoreo, aunque los estándares no siempre se aplicaron estrictamente; se usaron tres métodos.	No especificado.	El personal del área de conservación recibió capacitación sobre el monitoreo de la biodiversidad y para aumentar la concientización, y es capaz de utilizar los principales métodos de monitoreo.	Al personal del área de conservación se le paga un salario anual; reciben apoyo externo para la logística y asignaciones en el campo de 5 USD al día. A los lugareños no se les pagó. Se detuvo el monitoreo en cuanto se dejó de recibir financiación externa.	Se presentaron los formularios y reportes de monitoreo a la oficina de la Unidad de gestión del parque.	No especificado.	Una semana de monitoreo, incluidas 4 o 5 aldeas, cuesta aproximadamente unos 100 USD. Esto equivale a alrededor de 0,017 USD/ha/año.	La mejor manera de obtener una representación integral del uso y la abundancia de recursos puede ser a través de una combinación de varios métodos. Las relaciones sólidas entre los lugareños y el personal del parque hace que se fomente la confianza, y esto hace que haya una mejor cooperación y gestión compartida.

Noss <i>et al.</i> , 2005	Parque Nacional Kaalya del Gran Chaco, Bolivia	Abundancia de especies, índices de capturas globales, peso y edad.	La Wildlife Conservation Society organizó y apoyó el proyecto en colaboración con la administración del parque. El monitoreo lo realizaron cazadores en activo y miembros de la comunidad.	Los cazadores llevan fichas de datos en cada salida de caza que hacen para registrar la información. Los miembros de la comunidad también realizan encuestas de transecto lineales de las nueve especies de caza principales.	Fichas de datos, bolígrafos, cintas métricas, balanzas de resorte. Se utilizó GPS para registrar los sitios de caza.	Se proporciona capacitación; no se especifican los detalles.	Al principio, los cazadores participaron de manera voluntaria; tras 6 meses, el programa contrató a tiempo parcial entre 7 y 10 cazadores en cada comunidad.	Los monitores comunitarios analizan los datos mensualmente y los resumen cada 6-12 meses. Se celebran reuniones comunitarias para presentar los resultados y hablar sobre las posibles intervenciones.	Los autores del estudio utilizan los datos para extrapolar del número de cazadores participantes al número total de cazadores en el parque.	Aproximadamente 50.000 USD por año para salarios, y costos de suministros y transporte (0,015 USD/ha/año).	
---------------------------	--	--	--	---	--	--	--	--	---	--	--

Mukama et al., 2012	Tres aldeas dentro de la reserva forestal Angai Villages Land Forest Reserve, en Tanzania	Mapeo forestal participante, paredes de transecto forestal para estratificar el bosque en tipos de vegetación, parcelas permanentes de muestreo para medir la biomasa en los árboles a lo largo del tiempo.	Se seleccionó a ocho lugareños en cada comunidad.	Evaluación rural participativa (ERP) para mapear el área forestal, grupos de discusión para determinar la disposición que tienen las comunidades para participar.	Equipo para inventario forestal, que incluye cintas diamétricas, cintas métricas, pinzas, relascopios, GPS, hipsómetros; también botas de agua y medio de transporte.	A fin de introducir conceptos y los objetivos de la investigación, así como para determinar el interés, se utilizaron los métodos de evaluación rural participativa y de grupos de discusión. Se proporcionó capacitación sobre cómo usar el GPS, establecer parcelas de muestra permanentes, métodos de inventario forestal y sobre el uso del equipo.	Aproximadamente 4 USD/día (no pareció que esta cifra fuera suficiente para cubrir los costos de oportunidad de los participantes; los miembros de la comunidad propusieron aproximadamente 15 USD/día para el trabajo realizado en el futuro).	Los autores del estudio completaron los cálculos del volumen y la biomasa de los árboles utilizando ecuaciones alométricas generalizadas u obtenidas a nivel local.	No especificado.	Entre 0,56 USD y 0,84 USD/ha/actividad de monitoreo.	Algunos de los retos que se enfrentaron incluyeron el uso del GPS para marcar los límites de los estratos de vegetación, calcular los requisitos del tamaño de las muestras y determinar las ubicaciones de las parcelas de muestra permanentes y el transecto. Algunos de estos retos podrían haberse debido al poco tiempo proporcionado para la capacitación. El éxito de la aplicación dependerá de la colaboración que haya entre las comunidades locales y las organizaciones que faciliten los sistemas de información geográfica (SIG) y los análisis de los datos sobre carbono.
---------------------	---	---	---	---	---	---	--	---	------------------	--	---

Hartanto et al., 2002	Cooperativa multipropósito de San Rafael, Tanabag y Concepcion, en Filipinas	Información sobre criterios sociales y ambientales, incluidas las calidades de la educación, fuentes de ingreso, organizaciones consolidadas y gestión forestal y costera.	El marco de monitoreo desarrollado durante tres talleres y debates con organizaciones locales, representantes del consejo de la aldea y el departamento de funcionarios ambientales y de recursos naturales. Las organizaciones locales llevaron a cabo el monitoreo.	Se desarrollaron indicadores para cada criterio; por ejemplo, número de alumnos en las escuelas por medio de informes escolares, ingresos mensuales mediante encuestas, informes financieros mediante libros de registro para la organización, y cantidad de árboles mediante informes de datos.	No especificado; varió según el tipo de los datos recopilados.	Los participantes participan en el desarrollo de criterios e indicadores, de modo que la concientización es elevada y los métodos van en sintonía con las capacidades existentes.	No especificado.	Los resultados del monitoreo se comparten en reuniones mensuales, a través de boletines trimestrales y en las tablonas de anuncios de la comunidad. Faltaba más capacitación para determinar el éxito de la gestión.	No especificado; el objetivo es proporcionar datos a las comunidades locales, de modo que no se le dio prioridad a la agregación.	No especificado.	La amplia variedad de datos de indicadores requeridos pone de manifiesto la necesidad de contar con habilidades variadas para la recopilación de datos.
-----------------------	--	--	---	--	--	---	------------------	--	---	------------------	---

Stuart-Hill 2005	30 comunidades de zonas de conservación en seis parques nacionales, en Namibia	Se han desarrollado protocolos para monitorear 21 temas, entre los que se incluyen, por ejemplo, las lluvias, los incendios, la caza furtiva, la mortalidad de la fauna, la abundancia de peces o depredadores, etc., según las prioridades de la comunidad.	Personal en el campo (miembros de las zonas de conservación)	Los comunidades implicadas decidieron qué indicadores querían monitorear (a través de talleres comunitarios); se han desarrollado estándares para el monitoreo de los 21 temas estándar; además, se han puesto a la disposición de las comunidades locales los kits con herramientas para recopilar datos, y para reportar y analizar las tendencias a largo plazo.	Todos los formularios son en papel y se guardan copias en una caja para almacenamiento.	Se proporciona capacitación sobre la recopilación de datos y reportes.	No especificado.	Las comunidades locales son las encargadas de hacer la recopilación y el análisis de datos. Cada año se transfieren los totales a un formulario para evaluar las tendencias a largo plazo. Los guardabosques de la comunidad recopilan datos, los transmiten a los supervisores de recursos naturales, quienes, a su vez, informan al director de la zona de conservación o al presidente que se haya elegido.	Cada año se copian los datos de cada comunidad a una base de datos de monitoreo y evaluación nacional que pertenecen el Ministerio de Medioambiente y Turismo. Estos datos se utilizan para la toma de decisiones estratégica, como la fijación de cupos, la distribución del apoyo técnico o el monitoreo del cumplimiento.	No especificado.	Tradicionalmente hubo largos lapsos de tiempo antes de que el análisis de los datos regresara a las comunidades, y los miembros de la comunidad no entendieron de manera intuitiva los gráficos y los cuadros. En aquellos lugares en los que el monitoreo se realiza por prioridades locales, puede que no sea completo; allí donde la sociedad considere que hay otros indicadores que vale la pena monitorear, estos deben ser proporcionados.
------------------	--	--	--	---	---	--	------------------	--	--	------------------	---

7.3 SISTEMAS DE MONITOREO EN TIEMPO CASI REAL Y ALERTAS TEMPRANAS

Autor: John Musinsky

7.3.1 Introducción

El monitoreo forestal en tiempo casi real (NRT, por sus siglas en inglés) implica llevar un registro de las amenazas o perturbaciones forestales a fin de minimizar el lapso de tiempo transcurrido entre las observaciones de monitoreo y la difusión de información necesaria para responder ante los efectos de las amenazas detectadas, y así poder intervenir y reducirlos. Al proporcionar una respuesta rápida a la deforestación, la degradación, los incendios forestales y otros posibles fenómenos “en acción”, el monitoreo forestal NRT puede fortalecer el cumplimiento y la gobernanza local. Las alertas NRT facilitan la distribución de información de una forma simplificada y adaptada al usuario que puede ayudar a superar los escollos de comunicación. Este tipo de monitoreo aumenta la transparencia y puede impedir futuras actividades que contribuyan a la pérdida o la degradación forestal. El monitoreo forestal NRT y la distribución de alertas, combinados con un monitoreo comunitario, facilitan el manejo forestal eficaz a la vez que garantizan que se respeten las costumbres y los derechos locales. Las tecnologías móviles y por satélite también evolucionan continuamente, y aportan nuevas oportunidades para emplear distintos canales de datos de monitoreo forestal NRT para apoyar las decisiones y utilizar sistemas de medición, reporte y verificación (MRV).

El monitoreo NRT no es un requisito para reportar los gases de efecto invernadero (GEI) o para formar parte de un sistema nacional de MRV, si bien existen beneficios notables que se pueden conseguir mediante el NRT como parte de la MRV, y muchos países se están planteando incluir el monitoreo NRT en el desarrollo de sus sistemas nacionales de monitoreo forestal (SNMF). No es necesario que el monitoreo NRT forme parte del análisis de los datos que produce estimaciones cuantitativas de la cubierta forestal y las emisiones de GEI. Por el contrario, representa un componente de monitoreo adicional que permite un cumplimiento y gobernanza más eficaces, y un ajuste más rápido de las estrategias de REDD+ a las circunstancias cambiantes. También hay mucho potencial para enlazar el monitoreo NRT con el monitoreo comunitario y el manejo comunitario, en la que las comunidades locales reciben información NRT o bien contribuyen al monitoreo NRT mediante el análisis o la confirmación. Muchos países se podrían beneficiar de las posibilidades que presenta el monitoreo NRT dentro de sus estrategias nacionales de manejo y monitoreo forestal. Esta sección resume las características del monitoreo NRT y describe algunas de las aplicaciones NRT basadas en satélites y de los estudios de caso más avanzados.

7.3.2 Antecedentes

Los sistemas de monitoreo forestal NRT basados en sensores remotos y los sistemas de alerta se encuentran entre las herramientas más infrautilizadas para ayudar a gestionar y proteger los recursos forestales. Existe una variedad de recursos de imágenes satelitales disponibles que se pueden adaptar al análisis y reporte a tiempo casi real, proporcionando una plataforma de vigilancia NRT de los recursos forestales. El monitoreo forestal NRT complementa un análisis periódico (anual o por década) basado en sensores remotos de la extensión y de los cambios en los bosques, realizado como parte de la MRV. Ofrece una herramienta de implementación de proyectos efectiva y de gestión flexible para dar respuesta a las amenazas forestales inmediatas; de ese modo, se garantiza la protección de tanto carbono forestal como sea posible.

Además de los muchos beneficios relacionados con REDD+, el monitoreo forestal NRT puede proporcionar múltiples beneficios indirectos por ser de respuesta rápida. El acceso público a la información del NRT sobre la extensión de bosques, tasas de deforestación o de degradación forestal, aumenta la transparencia en cuanto a la eficacia de las instituciones responsable de controlar tal actividad. Asimismo, se aumenta la presión pública para reformar o mejorar la gobernanza. El hecho de saber que se puede rastrear a tiempo casi real una actividad forestal ilegal, sirve para ayudar a evitar futuras actividades ilegales cuando los agentes implicados se dan cuenta de que pueden ser monitoreados, e impedir de este modo prácticas que se consideraban difíciles de monitorear. Las alertas NRT frecuentes que rastrean y facilitan el reporte activo sobre nuevos patrones de deforestación, invasiones, incendios o de talas a lo largo del año, ayudan a las instituciones a diseñar planes de manejo que tienen en cuenta la variabilidad anual en los patrones espaciales y temporales de las actividades antes mencionadas, sobre todo las ilegales. Finalmente, el monitoreo forestal NRT ayuda a abordar cuestiones sobre cadenas de valor sostenibles de productos, al proporcionar información oportuna, destacando los riesgos asociados con las cadenas de suministro de cultivos comerciales, como es el caso del aceite de palma.

7.3.3 Tecnologías satelitales existentes de monitoreo forestal en tiempo casi real

Existen varias tecnologías satelitales ya disponibles, o planeadas para ser lanzadas en el futuro, que están equipadas para proporcionar información NRT debido a sus características espaciales y temporales. Una de estas son con datos de sensores remotos ópticos, que suelen ser los datos más adecuados para el monitoreo NRT por varios motivos: 1) analistas capacitados en sensores remotos pueden fácilmente detectar e interpretar inmediatamente cambios en la extensión y la estructura forestal cuando se utilizan datos ópticos; 2) las huellas de las imágenes individuales obtenidas con instrumentos óptimos suelen ser más grandes y tener un menor tiempo de revisita, lo que provoca que haya una disponibilidad de imágenes más frecuente y regular; 3) los archivos de imágenes son más completos espacial y temporalmente; y 4) los datos ópticos suelen ser más baratos.

La mayoría de imágenes satelitales usadas para el monitoreo forestal en las zonas tropicales se adquieren mediante sensores a bordo de satélites de órbita polar como Landsat, CBERS, Terra y Aqua; estos dos últimos llevan el instrumento espectrodímetro de imágenes de moderada resolución (MODIS, por sus siglas en inglés). Los satélites de órbita polar (que orbitan a una altitud de menos de 1000 km) proporcionan un enfoque rentable para reunir imágenes completas de todo el planeta, pero una desventaja de este tipo de satélites para el monitoreo NRT son los lapsos o vacíos temporales que se producen en el registro de los datos. Esto queda particularmente de manifiesto con los instrumentos como Landsat y CBERS entre otros, ya que tienen resoluciones espaciales más elevadas, pero resoluciones temporales más bajas. Una fuente alternativa de datos de sensores remotos son los satélites geoestacionarios (satélites que sobrevuelan continuamente sobre un mismo punto en el campo mientras la Tierra gira, proporcionando así observaciones ininterrumpidas del suelo). Sin embargo, para mantener sus órbitas geosincronizadas, la mayoría de satélites geoestacionarios se sitúan a una altitud de alrededor de 35 000 km, con una resolución de píxeles poco nítida que limita su utilidad para monitorear perturbaciones forestales a pequeña escala como la deforestación de tipo “corta y quema” o la degradación de bosques. A pesar de todo, los datos obtenidos por satélites geoestacionarios son útiles para la detección NRT de incendios gracias a las sensibilidades térmicas de los detectores; los futuros satélites geoestacionarios (p. ej., GOES-R, FY-4), con 1 km de *visibilidad* y bandas *cuasiinfrarrojas*, pueden ser la opción más adecuada para el monitoreo NRT ininterrumpido de actividades forestales de escala moderada.

Tanto los datos de RADAR como los de LiDAR tienen atributos únicos que pueden hacer que sean útiles para el monitoreo NRT en determinadas circunstancias. Entre otros, se incluye la habilidad de los instrumentos de RADAR para ver a través de las nubes, algo que supone una ventaja en áreas que están

casi siempre cubiertas de nubes. También se incluye información de la estructura forestal proporcionada por instrumentos de RADAR y LiDAR, que puede ser útil cuando el monitoreo cambia sutilmente debido a la degradación forestal. Sin embargo, los retos técnicos inherentes al procesamiento y la interpretación de los datos obtenidos por RADAR, la falta de adquisición de datos frecuente o la cobertura espacial completa de datos LiDAR, y el elevado costo de RADAR y LiDAR significan que actualmente no son prácticas como fuentes de datos NRT.

7.3.4 Consideraciones técnicas para los sistemas de monitoreo NRT

Un eficaz monitoreo NRT depende de varias condiciones: 1) al acceso a datos frecuentes o datos continuos libres de nubes (sin agentes contaminantes) tanto para la interpretación automática como para la manual; 2) la disponibilidad de datos con resolución espacial adecuada para permitir la detección directa de una actividad de perturbación forestal que esté en progreso (p. ej., un incendio) o la detección indirecta de perturbaciones una vez terminada la actividad en términos de la estructura forestal físicamente alterada, o la pérdida de biomasa; 3) la demora mínima entre la perturbación y la detección resultante para permitir la acción eficaz; y 4) que cuando el monitoreo es parte de una respuesta de campo o de cumplimiento, debe haber suficiente precisión geográfica para permitir que el personal de campo navegue a la ubicación en la que tuvo lugar la perturbación. Como parte de este proceso, los datos obtenidos por monitoreo NRT se pueden validar mediante información independiente de campo a fin de determinar su exactitud. A continuación se detallan cada una de las cuatro condiciones mencionadas anteriormente.

Datos sin nubes

La contaminación provocada por las nubes representa uno de los principales retos al usar las imágenes obtenidas por satélites ópticos para el monitoreo forestal NRT. Para compensar el exceso de contaminación provocada por las nubes o los lapsos temporales en los registros de datos de los datos obtenidos por satélite de alta resolución, se pueden adquirir datos alternativos o usar estrategias de procesamientos de datos. Por ejemplo, se puede realizar el análisis conjunto utilizando múltiples fuentes de datos (como Landsat con ASTER, CBERS o SPOT) en las mismas áreas geográficas y marcos temporales. Sin embargo, se debe actuar con cuidado cuando se analizan conjuntamente múltiples fuentes de datos con distintas resoluciones espaciales, ya que algunas actividades a pequeña escala pueden ser detectables en la resolución alta, pero no en los datos de resolución baja. Por ejemplo, pongamos que se están analizando conjuntamente unos datos de resolución alta captados recientemente y otros datos más antiguos, de resolución más baja, podría pasar que se detectan nuevas actividades “falso positivas”, cuando en realidad es una perturbación antigua.

Resolución espacial

La resolución espacial de los datos obtenidos por satélite debe coincidir con la escala del uso de la tierra o la actividad de extracción de recursos que participa en la deforestación o la degradación forestal. Por lo general, se necesitan múltiples píxeles de datos ópticos para delinear eficazmente las características que hay en el campo. Por ejemplo, las actividades a muy pequeña escala requieren datos obtenidos por satélite de alta resolución como RapidEye (6,5 m), SPOT-5 (5-10 m), SPOT-6 (1,5-6 m), IKONOS (1-4 m), Quickbird (0,7-2,4m) o GeoEye-1 (0,5-1,65 m). Read (2003) y Read *et al.* (2003) utilizaron la interpretación visual de datos pancromáticos a 1 m y multispectrales a 4 m obtenidos por el satélite IKONO, y también fusionaron productos basándose en estos datos, a fin de identificar actividades asociadas con la explotación forestal de impacto reducido (RIL, por sus siglas en inglés) en el Amazonas, en Brasil. Estas actividades incluían la apertura de carreteras y claros por caída de árboles. Las imágenes de escala media, como las imágenes pancromáticas de resolución de 15 m obtenidas por Landsat, también pueden resultar útiles para detectar actividades forestales de escala moderada, como la

agricultura de corta y quema del orden de 0,25-0,50 hectáreas. Las imágenes obtenidas por Landsat de 30 m, es decir, resolución nativa, se pueden usar para clasificar áreas de deforestación de 0,75 hectáreas o más.

La relación entre el tamaño del píxel y el fenómeno observado, es algo distinta para la detección de incendios activos. Los canales térmicos de muchas de las plataformas satelitales para la observación de la Tierra se diseñan para detectar con exactitud las elevadas cantidades de radiación térmica (calor) emitida por los incendios en tierra. Estas bandas térmicas tienen píxeles que cubren áreas mucho más grandes que los incendios que son capaces de detectar. Por ejemplo, los estudios de campo en distintos entornos y en condiciones de visión distintas han demostrado que las bandas térmicas de 1 km de resolución en MODIS pueden detectar con exactitud incendios en tierra abierta que cubran un área de solo 100 m² cuando su temperatura sea lo suficientemente elevada, y allí donde las condiciones de observación sean buenas (Giglio *et al.*, 2003).

Latencia

A fin de contribuir eficazmente a las respuestas basadas en trabajo de campo, ante actividades forestal ilegales o no deseadas, que incluye el despliegue de funcionarios para el cumplimiento de leyes ambientales o la coordinación de personal para el monitoreo comunitario, los datos obtenidos por satélite que se usan para detectar estas actividades ilegales se deben captar, interpretar y reportar con el mínimo retraso posible. La latencia se refiere al tiempo transcurrido entre la observación por satélite y la entrega del producto a los usuarios. El esfuerzo de procesamiento en tiempo casi real (NRTPE, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) para los productos del sistema de observación de la Tierra (SOT) utiliza datos con latencias muy cortas, del orden de dos a tres horas para los datos de MODIS (O'Neal, 2005). Las imágenes de Landsat 8 se pueden descargar durante las 12 horas posteriores a su adquisición, mientras que con Landsat 7, el procesamiento es de media entre 1 y 3 días entre el momento en el que se adquieren las imágenes y el momento en el que se distribuyen. Las escenas obtenidas mediante ASTER no están disponibles para el usuario hasta que han pasado entre 7 y 10 días desde la adquisición de las imágenes. Además de la latencia de los datos adquiridos por satélite, es común que haya un lapso de tiempo entre la actividad forestal real y el momento en que el satélite observa la perturbación. A pesar de que en teoría este lapso de tiempo debe ser breve (p. ej., un máximo de cuatro horas cuando se utilizan datos obtenidos a través de MODIS para monitorear incendios, o hasta 21 días si se usa Landsat para monitorear la deforestación), en la práctica, el lapso de tiempo puede ser notablemente mayor si hay nubosidad y es necesario captar más imágenes por satélite antes de poder tener disponibles datos sin nubes. Finalmente, hay un lapso de tiempo durante la fase de análisis de la imagen y en la distribución de los datos a los usuarios finales. Este lapso de tiempo puede ser muy breve cuando se utilizan sistemas de procesamiento analítico automatizado, o muy largo cuando el análisis se realiza manualmente (ya sea a través de clasificaciones con la ayuda de la computadora o a través de digitalización manual). La suma de todas estas fuentes que producen demoras es la latencia funcional del sistema de monitoreo NRT.

Además de la resolución espacial, la latencia es uno de los factores que determinarán la eficacia del sistema. Tal como se ha mencionado, hay un cierto equilibrio entre la resolución espacial y la resolución temporal: cuanto mayor sea la resolución espacial, menor será la resolución temporal; cuanto menor sea la resolución temporal más largos serán los lapsos entre las adquisiciones repetidas de datos; cuanto mayores sean estos lapsos, mayor será la latencia y menos efectivo el sistema para respuesta rápida. La latencia tiene una especial importancia cuando se rastrea la degradación forestal, ya que la señal espectral puede desaparecer rápidamente debido a que la vegetación ha vuelto a crecer. Sin embargo, incluso si la latencia es elevada, un sistema puede seguir siendo útil para guiar actividades de manejo adaptativo.

Precisión y validación

Las imágenes de alta resolución obtenidas por satélite, como Landsat, suelen estar preprocesadas por los proveedores de datos satelitales a un error cuadrático medio (RMS, por sus siglas en inglés) máximo de menos de 50 m; y las ubicaciones geográficas de las actividades forestales detectadas mediante esos datos son lo suficientemente precisas como para que el personal de campo pueda rastrear y localizar la actividad utilizando un GPS estándar y basándose en las ubicaciones reportadas que se extraen de las imágenes. Por el contrario, las ubicaciones geográficas de las detecciones de incendios activos producidos por MODIS están determinadas por el punto central del píxel de canal térmico de 1 km². De hecho, la ubicación real del incendio detectado por MODIS se puede encontrar hasta a 500 m del punto central del píxel, complicando así la navegación al incendio notificado.

A menudo, a la exactitud de muchos productos de monitoreo forestal NRT le suele faltar una validación sistemática. En parte, esto se debe a la naturaleza de la información en tiempo casi real, ya que la principal preocupación es que los datos se entreguen con rapidez. Sin embargo, la exactitud es un factor de vital importancia a la hora de fomentar y mantener la confianza del usuario en los productos NRT. Si hay dudas acerca de la exactitud de los datos, esto podría afectar negativamente a la institución que provee los productos y, a un nivel más general, mermar la voluntad de las personas a usar datos NRT como fuente de información para la toma de decisiones. En algunos casos, los gobiernos han rechazado utilizar sistemas de monitoreo forestal NRT que no hayan sido oficialmente aprobados y designados como proveedores de datos certificados.

Dada la prevalencia en todo el mundo de la tecnología de telefonía celular inteligente con GPS y del intercambio de datos a través de blogs y redes sociales, actualmente existen muchas oportunidades para que los usuarios recopilen observaciones en campo (p. ej., fotografías etiquetadas por la ubicación del GPS) y proporcionen información para la validación de los datos de monitoreo forestal NRT. Algunos sistemas de monitoreo NRT que existen se configuran para captar la información por medio de aplicaciones de los teléfonos inteligentes y de blogs. El desarrollo de salvaguardas a la privacidad y de controles de verificación de datos de campo son una parte muy importante de este proceso, para garantizar la seguridad de las personas que proporcionan la información (p. ej., reportar una actividad forestal ilegal) y garantizar que los datos de campo sean exactos.

7.3.5 Ejemplos de sistemas existentes de monitoreo forestal NRT

El monitoreo NRT con datos satelitales de observación terrestre puede ayudar a superar muchos de los problemas relacionados con la reducción de actividades forestales ilegales o no deseadas y sus efectos y, al mismo tiempo, puede ayudar a fortalecer las actividades de apoyo a las decisiones que pretenden prevenir la deforestación, invasiones e incendios relacionados con actividades REDD+.-Además, para estar preparado para estas situaciones y dar respuesta cuando sucedan. El monitoreo NRT desempeña un papel crucial a la hora de alertar de las situaciones de incendios a los administradores de parques, gestores forestales de campo, patrullas, ONG locales y comunidades locales. Además, permite mejorar la capacidad de los gobiernos nacionales y subnacionales para responder ante las amenazas de manera estratégica. Las previsiones de riesgo de incendio son importantes para poder prepararse por adelantado, y pretenden evitar, reducir y manejar la deforestación relacionada con incendios forestales descontrolados. El monitoreo de la deforestación, de invasiones y de la incidencia y riesgo de incendios, proporciona información de gran importancia, para ayudar a tener políticas informadas, a la planificación y al manejo de la tierra. A continuación se describen varios sistemas de monitoreo NRT.

Sistemas de alerta de incendios / riesgo de incendios / alerta de deforestación e invasiones de Conservación Internacional

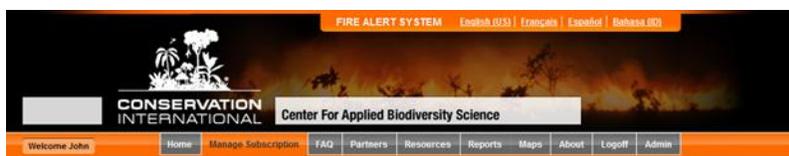
La colaboración entre Conservación Internacional (CI), la Universidad de Maryland (UMD) e instituciones de países anfitriones, permitió que se desarrollara un conjunto de aplicaciones para NRT

para prever incendios y monitorear la deforestación. Estas aplicaciones canalizaron observaciones satelitales directamente hacia los usuarios encargados de las actividades y de las acciones de toma de decisiones relacionadas con incendios forestales. Las aplicaciones incluyen: el Sistema de Alerta de Incendios (FAS, por sus siglas en inglés), el Sistema de Riesgo de Incendios y el Sistema de Alerta de Deforestación e Invasiones. El FAS funcionó entre los años 2003 y 2013 y consistía en un sistema de alerta automatizado basado en datos sobre incendios activos de MODIS generados por la NASA. Este sistema daba a los suscriptores una variedad de productos que se adaptaban a sus necesidades (Figura 7.3). El Sistema de Riesgo de Incendios (Fire Risk System, FRS) era un modelo de riesgos diarios automatizado que se dedicaba a realizar estimaciones de las fluctuaciones de humedad en los residuos que podían quemarse en el suelo forestal. Recibía a diario datos procedentes de MODIS y de otros satélites atmosféricos. El sistema de alerta de deforestación e invasiones fue un sistema de alerta NRT que se creó para proporcionar análisis rápidos de las imágenes obtenidas por Landsat y ASTER. En el año 2014, estos sistemas se integraron en un nuevo sistema de monitoreo, previsión y alerta: Firecast⁴⁸, que se describe más abajo.

El sistema cuenta con 1300 suscriptores de 45 países. Los usuarios de estos sistemas de monitoreo desarrollaron aplicaciones cruciales para generar datos y alertas NRT en materia de cumplimiento de la leyes forestales, la gestión de las áreas protegidas, apoyo a proyectos de carbono forestal REDD+, educación de las comunidades y el desarrollo de políticas relacionados con la conservación y el desarrollo sostenible, entre otros aspectos (NASA 2010, Musinsky *et al.* 2013).

El FAS entró en funcionamiento en el año 2002, con el envío de alertas por correo electrónico, utilizando observaciones de incendios activos del MODIS de la Web Fire Mapper (un mapa en línea que muestra la ubicación de incendios NRT) de la UMD. Este mapa en línea abarca áreas protegidas en Brasil, Bolivia, Madagascar, Namibia, Paraguay, Sudáfrica y Tanzania. En el año 2007, una versión automatizada de FAS para Madagascar empezó a enviar datos en tiempo casi real generados por MODIS RapidFire al personal de campo y a entidades gubernamentales responsables de gestionar áreas naturales, suprimir incendios y conservar bosques. Desde entonces, el FAS se ha expandido e incluye también a Bolivia, Perú y las islas indonesias de Sumatra y Kalimantan. Además, el sistema también añadió el acceso público a alertas de sospechas de actividades ilegales generadas en los parques de Indonesia, e incluyó también información adjunta a correos electrónicos con imágenes individuales, archivos de texto, archivos de datos de puntos de sistemas de información geográfica (SIG) y archivos KML de GoogleEarth, esto, sobre los incendios que habían dentro de las áreas de interés definidas por el usuario. Ofrecía también acceso a informes y mapas en línea.

⁴⁸ <http://firecast.conservation.org>



Edit Areas of Interest Subscription

* Required fields

Fire Monitoring Location * Madagascar

Area of Interest * Protected Areas

Protected Areas * Select all or up to 10

- all
- Ambato Atsimanana (Sante Luce)
- Ambatitsirogorongo
- Ambatozaky

REMOVE 2ND CRITERIA

Second Area of Interest * Royal Botanic Gardens, KEW Vegetation Type

Royal Botanic Gardens, KEW Vegetation Type * Select all or up to 10

- Degraded south western dry spiny forest
- Humid forest
- Natural forest
- Mangroves

Subscription Reference Name * Madagascar - All PA's by different forest types

Nombre del Área	Latitud	Longitud	Fecha	Hora	Sig
CUSCO	-12.448	-73.873	2011-06-10	18:20	A
CUSCO	-12.456	-73.871	2011-06-10	18:20	A
CUSCO	-12.454	-73.866	2011-06-10	18:20	A
CUSCO	-13.980	-71.991	2011-06-10	18:20	A
HUANUCO	-8.701	-76.112	2011-06-10	18:20	A
JUNÍN	-11.268	-75.569	2011-06-10	15:30	T
JUNÍN	-11.426	-74.483	2011-06-10	18:20	A
LORETO	-7.299	-75.092	2011-06-10	15:30	T
LORETO	-7.912	-74.774	2011-06-10	18:25	A
LORETO	-5.993	-74.533	2011-06-10	18:25	A
LORETO	-6.094	-76.259	2011-06-10	18:25	A
LORETO	-5.849	-74.604	2011-06-10	18:25	A
LORETO	-5.902	-76.112	2011-06-10	18:25	A
LORETO	-6.029	-74.888	2011-06-10	18:25	A
SAN MARTÍN	-7.776	-76.768	2011-06-10	18:25	A
UCAYALI	-8.524	-74.203	2011-06-10	15:30	T

Figura 7.3: Página de suscripción y manejo de datos del usuario para un sistema de alerta de incendio (arriba) y una muestra de una alerta por correo electrónico y un adjunto en formato JPG, en los que se notifica un incendio en un área de interés especificada por el usuario (abajo).

Fire Risk System (sistema de riesgo de incendios, FRS) es una aplicación en línea que utiliza la bioclimatología por satélite para modelar la inflamabilidad forestal (Steininger *et al.*, 2013). El modelo se basa en la relación entre el contenido de humedad y la inflamabilidad de los materiales combustibles del suelo forestal (p. ej., detritus y restos de madera). La humedad de estos materiales varía según las precipitaciones, la temperatura y la humedad. El modelo asume que el material combustible es inflamable cuando su contenido de humedad es del 20% o menos, y se basa en experimentos en campo realizados por el Servicio Forestal de Estados Unidos durante décadas. Estos experimentos describen cuantitativamente la relación entre la humedad del material combustible y el riesgo de inflamabilidad. FRS utiliza estimaciones realizadas por satélite como datos para las ecuaciones del Sistema de Calificación de Peligro de Incendios del Servicio Forestal de Estados Unidos, que buscan realizar una estimación del contenido de humedad que hay en los materiales combustibles. A diario se generan mapas de la inflamabilidad forestal a una resolución de 5 km basados en el contenido de humedad de los

materiales combustibles el día anterior y en las condiciones atmosféricas del aire de ese día. Los mapas se distribuyen a través de FireCast (Figura 7.4).

Las observaciones satelitales utilizadas en este modelo representan la duración de las lluvias de TRMM 3B42RT, y la temperatura cerca de la superficie y la humedad relativa de los perfiles atmosféricos de MODIS MOD07L2. El modelo trabaja por la noche y obtiene datos de MODIS y TRMM para generar mapas sobre el riesgo de incendios, la cantidad de precipitaciones diarias y el índice de sequía de Keetch-Byram, que es un índice muy usado. La Fundación Amigos de la Naturaleza, en Bolivia, utiliza actualmente los resultados obtenidos por este modelo, así como el departamento forestal boliviano para las comunicaciones a nivel de distrito y comunidad.

Las observaciones satelitales utilizadas en un este modelo representan la duración de las lluvias de TRMM 3B42RT, y la temperatura cerca de la superficie y la humedad relativa de los perfiles atmosféricos de MODIS MOD07L2 El modelo trabaja por la noche y obtiene datos de MODIS y TRMM para generar mapas sobre el riesgo de incendios, la cantidad de precipitaciones diarias y el índice de sequía de Keetch-Byram, que es un índice muy usado. La Fundación Amigos de la Naturaleza, en Bolivia, utiliza actualmente los resultados obtenidos por este modelo, así como el departamento forestal boliviano para las comunicaciones a nivel de distrito y comunidad.

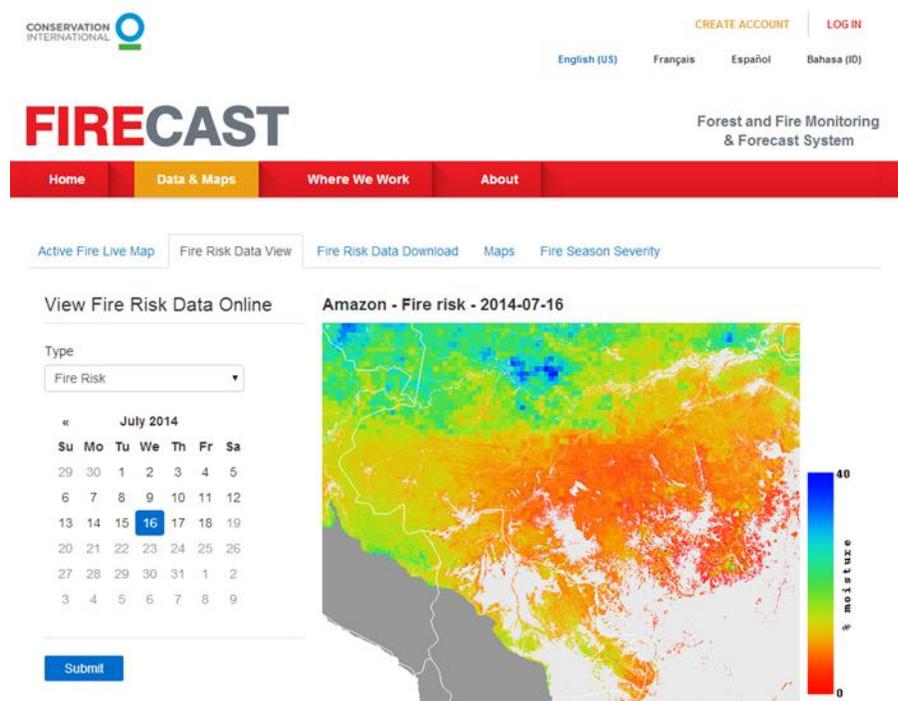


Figura 7.4: Ejemplo de resultados del modelo de inflamabilidad forestal utilizados en un sistema de alerta. Patrones espaciales del contenido de humedad diaria para materiales combustibles primarios, un indicador muy útil para informar sobre el riesgo de incendios. Los datos son del 16 de julio del 2014. Las áreas que van de amarillo a rojo indican unos valores de humedad del 20 % o inferiores, cifra que indica que hay una mayor inflamabilidad. Las áreas en gris claro son áreas no forestales (N), el gris medio indica bosques por encima de 500 m ASL (F), y el gris oscuro es para las áreas que son agua (W)⁴⁹. El sistema de alerta de deforestación e invasiones utilizó el mismo enfoque que el FAS: envió NRT de las observaciones de presuntas actividades forestales ilegales a distintos agentes implicados del país que utilizan la información para proporcionar una respuesta rápida. Se observaron continuamente los archivos satelitales de Landsat Y ASTER y, a medida que iba habiendo disponibles nuevos datos, se descargaban y analizaban las imágenes para encontrar pruebas de las invasiones forestales en los 2,8 millones de hectáreas de áreas protegidas y sitios REDD+ en Indonesia y

⁴⁹ De Steinger et al. (2013), <http://firecast.conservation.org/>

Madagascar. Las alertas de deforestación e invasiones (Figura 7.1) complementaron las alertas de incendio. Por su parte, aunque los datos de alta resolución de Landsat y ASTER se caracterizan por una latencia mucho mayor que las imágenes obtenidas por MODIS, permitieron delinear las áreas deforestadas en las que MODIS detectó incendios. Los informes de los homólogos en el campo confirmaron que la combinación de los sistemas de alerta de incendios y los de alerta de invasiones fueron un catalizador y una guía para numerosas campañas para hacer cumplir las leyes, lo que provocó que se detuvieran y disuadieran las actividades forestales ilegales dentro de los parques nacionales.

Actualmente Conservación Internacional (CI) y los centros Ames y Goddard de la NASA, junto con el apoyo de una donación del Wildland Fires de la NASA, están colaborando en el desarrollo de FIRECAST, un nuevo sistema integrado de monitoreo y previsión forestal y de incendios para mejorar la gestión forestal en zonas tropicales, basado en el conjunto de sistemas de monitoreo NRT anteriores. El prototipo de Firecast integra el sistema de alerta de incendios (FAS) y el sistema de riesgo de incendios (FRS) que ya existen de CI en un sistema más estable y más flexible construido en “la nube”. El modelo de riesgo de incendios se ha expandido geográficamente y también ha sido mejorado en el entorno de supercomputación NEX de la NASA, diseñado para desarrollar y evaluar modelos. En el sistema también se ha incluido un componente de previsión de incendios por temporada desarrollado por investigadores de la Universidad de California en Irvine y de la NASA. Este componente advierte de los meses en los que es posible que se produzcan incendios más graves antes de que llegue la temporada de incendios (Chen *et al.*, 2011). En los próximos años se introducirán más mejoras significativas en los sistemas, entre ellas: 1) entrega de nuevos productos de observación terrestre NRT; 2) una mejor funcionalidad de los sistemas, incluida la personalización por parte del usuario; 3) expansión a nuevas zonas geográficas y sectores; 4) un espacio en línea para compartir datos y que los usuarios puedan colaborar entre ellos.

Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS)

El Sistema de Información de Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS) es el sistema de monitoreo de incendios NRT más importante e influyente creado hasta la fecha. El sistema fue desarrollado por la UMD junto con el centro Goddard de la NASA, y actualmente se encuentra en el EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System) de la NASA⁵⁰. El sistema FIRMS tiene cuatro componentes: Web Fire Mapper, un sistema de mapeo interactivo en línea creado en el año 2001; alertas por correo electrónico para las áreas protegidas; una herramienta para descargar datos que permite que los usuarios descarguen datos sobre incendios activos de MODIS basándose en rangos de datos; y acceso a subconjuntos de imágenes MODIS (Figura 7.5) (Justice *et al.*, 2011; Davies *et al.*, 2009). La aplicación de código abierto Web Fire Mapper permite a los usuarios ver y preguntar por los datos de incendios activos para cualquier rango de datos; también les permite ver imágenes MODIS de áreas quemadas para todo el mundo, mes a mes. FIRMS procesa el producto mensual de nivel 3 de cuadrícula de 500 m a nivel de bloques de área quemada del instrumento MODIS de la NASA⁵¹ y permite que esté disponible en las imágenes que se muestran a una resolución de 8 km, 4 km o 2 km.

⁵⁰ (<http://earthdata.nasa.gov/data/nrt-data/firms>)

⁵¹ MOD45A1: <http://modis-fire.umd.edu>

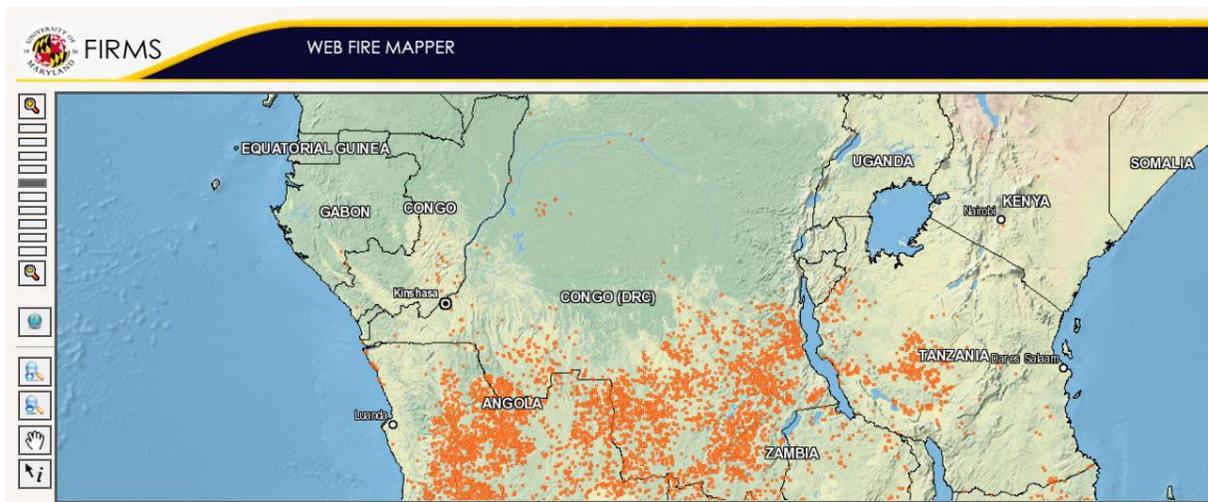


Figura 7.5: Componentes de FIMS (arriba) y Web Fire Mapper (abajo).

El componente de FIMS que envía mensajes de alerta por correo electrónico proporciona información sobre incendios activos de MODIS para áreas protegidas especificadas o para áreas de interés definidas por el usuario, y permite que los suscriptores elijan si prefieren alertas NRT diarias, semanales o resúmenes. Los suscriptores pueden especificar cualquier área de notificación; para ello, deben seleccionar un rectángulo en un mapa interactivo o seleccionar un país o área protegida específicos en uno de los cuadros desplegable. También se puede especificar una frontera alrededor del área protegida. El sistema de alerta por correo electrónico tiene la opción de incluir una imagen de un mapa y un archivo de texto de valores separados por comas (CSV, por sus siglas en inglés) de las coordenadas del incendio. La imagen del mapa permite que los usuarios vean inmediatamente la ubicación exacta del incendio, y el archivo CSV se puede introducir en un sistema de información geográfica (SIG) para realizar más análisis. Los archivos CSV también se pueden añadir a una base de datos local sobre incendios. Los datos de incendios activos de MODIS están disponibles a través de FIMS en un rango de datos de fácil acceso, incluidos archivos de texto CSV, archivos de datos de puntos ESRI, archivos KML, archivos NASA World Wind y archivos de Web Map Service (WMS). La distribución de información sobre incendios activos en formato de vectores, como un archivo *Shapefile* de ESRI, tiene la ventaja de que el tamaño del archivo es pequeño y de que permite la opción de consultar la información de los atributos.

Sistema Global de Gestión de Información sobre Incendios (GFIMS)

El Sistema Global de Gestión de Información sobre Incendios (GFIMS) integra las tecnologías de sensores remotos y SIG para proporcionar a los gestores de recursos naturales a nivel mundial, información sobre la ubicación de sitios importantes por incendios MODIS. El GFIMS está alojado en el Departamento de Recursos Naturales (NRD, por sus siglas en inglés) de la Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y se basa en FIRMS⁵². GFIMS complementa a los sistemas de información existentes que proporcionan datos y servicios a procesos de monitoreo en curso y proyectos de respuesta ante emergencias para la sede central de la FAO y sus oficinas en campo, a otras organizaciones de las Naciones Unidas y al público en general. Fire Email Alerts (sistema de alertas de incendio por correo electrónico) es el servicio de alertas por correo electrónico de código abierto del GFIMS. Fire Email Alerts notifica a los usuarios registrados de los incendios activos derivados de MODIS en un área de interés especificada; también envía la alerta por correo electrónico directamente a los suscriptores, ya que lee una base de datos de información que los usuarios proporcionaron durante la suscripción al servicio (perfiles de usuario). La información de suscripción del usuario refleja su área de interés, la frecuencia de las alertas y las preferencias para el envío de correos electrónicos. La alerta por correo electrónico incluye un resumen de la cantidad de incendios detectados y una lista en forma de tabla adjunta en la que se indican los incendios con sus atributos en formato CSV. Las alertas de incendios diarias y semanales se envían desde el sistema GFIMS, mientras que las alertas NRT se envían directamente del centro de Respuesta Rápida de MODIS (MRR, por sus siglas en inglés) a fin de evitar posibles retrasos causados por el hecho de transmitir los datos de los servidores de MRR a los de GFIMS.

PROARCO, DETER y PRODES

El Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil (INPE) ha desarrollado múltiples herramientas para monitorear los incendios y la deforestación. PROARCO es el sistema de monitoreo de incendios del INPE⁵³. Se trata de una herramienta de mapeo web que publica a diario datos sobre detecciones de incendios activos de MODIS, AVHRR y GOES. PROARCO se complementa con el Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia (DETER)⁵⁴, que proporciona una interfaz de mapeo en línea para mostrar los datos NRT históricos sobre la deforestación y los incendios. Además, DETER produce alertas de deforestación del Amazonas, mensuales o bimensuales, que facilitan el control eficaz de la tala de árboles (Figura 7.6). Las alertas DETER se envían al Instituto Brasileño del Medioambiente y los Recursos Naturales (IBAMA) y a agencias gubernamentales que se encargan de hacer cumplir la legislación forestal.

Los datos de DETER se basan en MODIS, y pueden detectar episodios de deforestación con un área superior a 25 hectáreas. DETER utiliza una resolución espacial baja, pero se compensa con las observaciones diarias que forman un mosaico en unas evaluaciones mensuales que abarcan la totalidad del Amazonas legal. Sin embargo, algunas áreas deforestadas seguirán sin ser detectadas debido a la cubierta de nubes constante y a una resolución espacial relativamente baja (una limitación de los sistemas de monitoreo de la deforestación NRT basados en MODIS). DETER proporciona una fuente de datos importante para controlar y hacer cumplir las leyes debido a la elevada resolución temporal de los datos. Tanto las herramientas de mapeo web de DETER y de PROARCO están disponibles en portugués, español e inglés. Además, DETER está complementada por el monitoreo anual de la remoción de bosques utilizando el Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES)⁵⁵ del INPE. El sistema PRODES se basa en las imágenes de alta resolución de Landsat y CBERS capaces de detectar la deforestación a pequeña escala.

⁵² <http://www.fao.org/nr/gfims/gf-home/en/>

⁵³ <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>

⁵⁴ <http://www.obt.inpe.br/deter/indexdeter>

⁵⁵ www.obt.inpe.br/prodes

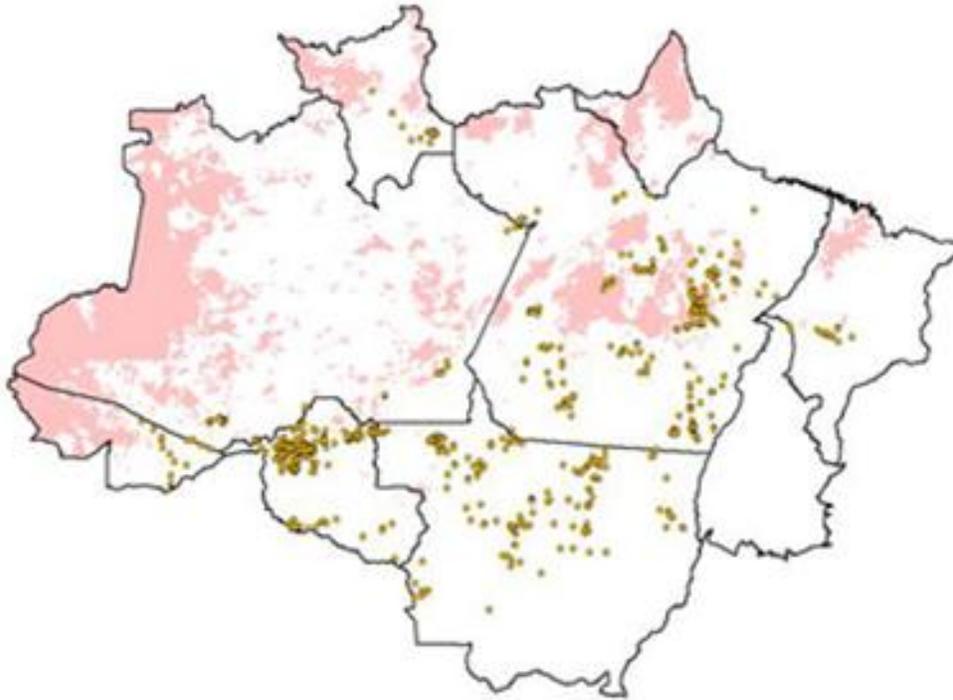


Figura 7.6 Los puntos amarillos representan la ubicación de la deforestación en una alerta emitida por DETER.

Sistemas de Alerta de Deforestación (SAD) de IMAZON e ImazonGeo

El Sistema de Alerta de Deforestación (Sistema de Alertas de Desmatamento, SAD) es un sistema de monitoreo basado en satélites que está operado por el Instituto Amazónico de los Pueblos y el Medioambiente (IMAZON), una organización no gubernamental con sede en Belém, Brasil. El SAD produce boletines mensuales y anuales sobre la transparencia en la gestión forestal y mapas sobre la deforestación y la degradación del Amazonas legal. Estos boletines y mapas se pueden descargar del sitio web de IMAZON y también del de ImazonGeo (Figura 7.7). ImazonGeo⁵⁶ es un portal web interactivo que distribuye información espacial sobre el estado y las amenazas de los bosques y las áreas protegidas del Amazonas brasileño. En el portal web se incluyen datos sobre la deforestación procedentes de SAD, DETER y PRODES, así como de 29 canales de datos únicos de datos sobre incendios activos que aumentan la probabilidad de obtener observaciones sin nubes procedentes de los satélites Terra, Aqua, GOES y NOAA para el Amazonas brasileño. La abundancia de canales de datos sobre incendios activos resulta valiosa porque proporciona una cobertura temporal más extensa y también la oportunidad de realizar una validación cruzada entre los distintos canales de datos. Para los productos para la deforestación/degradación, el equipo IMAZON SAD crea un mosaico temporal de productos MOD09GQ y MOD09GA de MODIS diarios, filtra las nubes, y calcula una fusión de la resolución entre el multiespectro de 500 m y las bandas visibles de 250 m. También se encarga de producir una imagen del Índice Normalizado de Diferencia de Fracción (NDFI, por sus siglas en inglés), que muestra la abundancia relativa de vegetación verde, suelos, sombras y componentes de vegetación no fotosintética que IMAZON utiliza para detectar la deforestación y la degradación con el paso del tiempo. Todos estos datos se pueden descargar como archivos de datos de puntos del sitio web de ImazonGeo. Además de los mapas, estadísticas e informes en línea, ImazonGeo envía alertas de texto SAD a través de teléfonos celulares y a correos electrónicos. SAD lleva funcionando en el estado de Mato Grosso desde agosto de 2006, y en el Amazonas desde abril del 2008; suele usarse como fuente y corroborativa

⁵⁶ <http://www.imazongeo.org.br>

de medida de las estadísticas sobre la deforestación del Amazonas, producidas por el programa PRODES del INPE. ImazonGeo está disponible en portugués y en inglés.



Figura 7.7 ImazonGeo.

Productos de deforestación QUICC MODIS y el Sistema de Alerta de Perturbaciones Forestales Globales (GloF-DAS)

Los investigadores del Centro de Investigación AMES de la NASA y de la Universidad Estatal de California (CSU) han desarrollado un producto satelital MODIS de resolución de 5 km conocido como *indicador trimestral de cambios de cobertura* (QUICC, por sus siglas en inglés) para todas las áreas boscosas del planeta. Este producto se basa en una serie de comparaciones trimestrales de las imágenes de los índices diarios de vegetación de MODIS que se realizan en la misma época cada año (marzo, junio, septiembre y diciembre) para todas las áreas forestales y arboladas que han perdido al menos un 40 % de su cubierta de vegetación verde durante el año anterior.

Los productos QUICC se distribuyen a través de distintas fuentes, entre las que se incluyen: el portal web de GloF-DAS⁵⁷, alojado en Mongabay.com; la página web del Global Forest Watch del WRI; y otros sistemas de distribución de datos a terceros (Figura 7.8). GloF-DAS se basa en el producto QUICC de la NASA y proporciona datos sobre la distribución forestal en todo el mundo para poder mapear trimestralmente todos los cambios en la cubierta forestal a gran escala (incluidos los efectos de los

⁵⁷ <http://rainforests.mongabay.com/deforestation-tracker/>

incendios). El equipo combinado del centro AMES de la NASA y de la CSU actualiza y distribuye sus productos QUICC globales a GloF-DAS tan pronto como está disponible la imagen del índice de vegetación mundial trimestral MODIS.

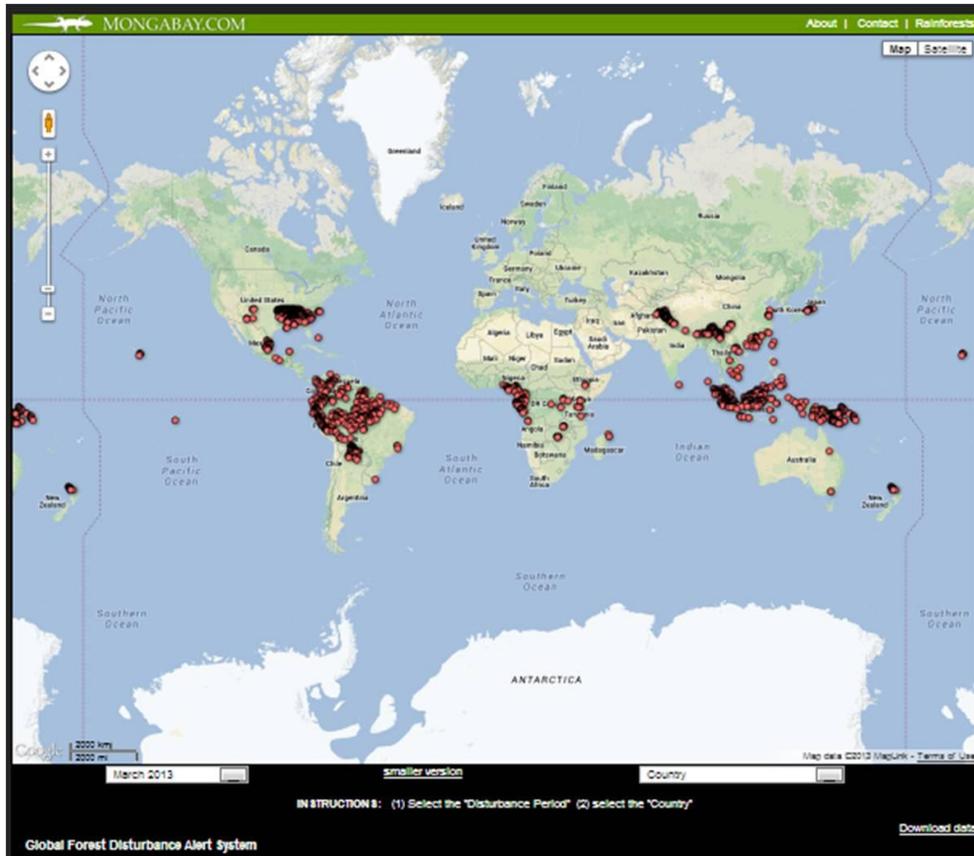


Figura 7.8 GloF-DAS

Herramienta de Riesgo de Incendios Interactiva de CIFOR

El Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR, por sus siglas en inglés), con sede en Indonesia, ha creado una aplicación web de mapeo de riesgos de incendios⁵⁸. Esta aplicación permite que los usuarios tengan una visión de los datos satelitales NRT sobre ubicaciones de incendios activos de FIRMS y de las cicatrices provocadas por incendios mapeadas por CIFOR a partir de las imágenes más recientes obtenidas por Landsat 8 de turberas, fronteras de moratorias a la tala de árboles, concesiones en la plantación de aceite de palma y de madera, e imágenes primarias de Landsat 8 (antes y después de las quemaduras) (Figura 7.9). Estos datos resultan útiles para ayudar a cumplir las reglas medioambientales establecidas por las autoridades provinciales y nacionales de Indonesia. También son una herramienta útil para el monitoreo de las cadenas de valor de materias primas.

⁵⁸ <http://www.cifor.org/map/fire/>

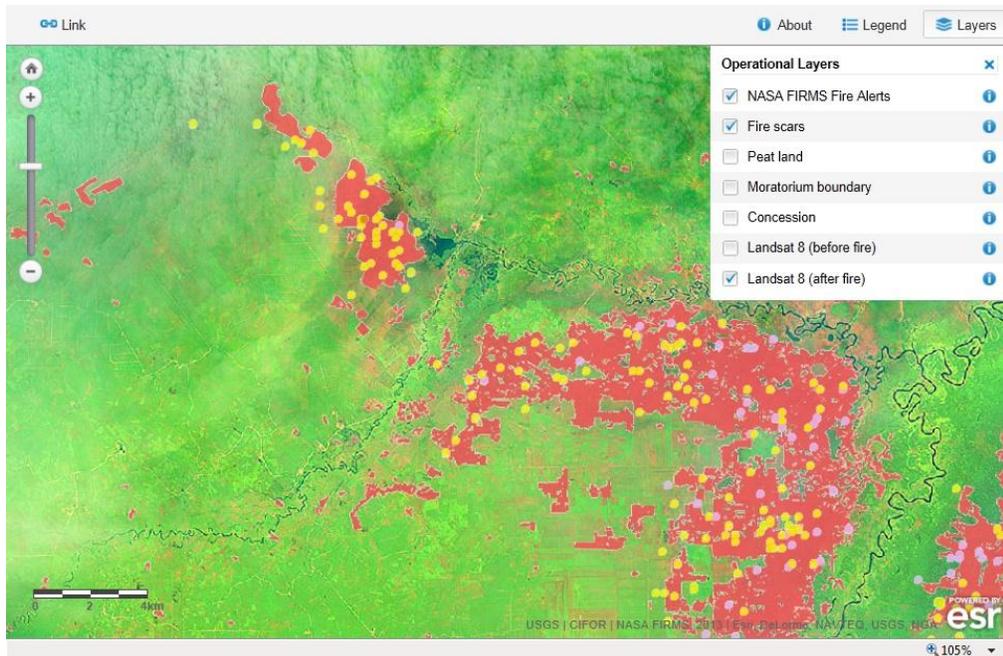


Figura 7.9. Herramienta de Riesgo de Incendios Interactiva de CIFOR

Global Forest Watch 2.0 de WRI

Global Forest Watch (GFW) del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) se creó en 1997 para elaborar información completa sobre los recursos forestales y el manejo forestal en países de clima templado y tropical a través de la publicación de una serie de informes sobre atlas forestales y el estado de los bosques de GFW. En 2011 vio la luz GFW 2.0, un portal de red social en línea y de mapeo y distribución de datos que proporciona acceso a un rango de cambios forestales históricos NRT y de productos de incendios desde varias fuentes internas y externas (Cuadro 7.4).

Datos	Fuente	Frecuencia	Resolución	Extensión geográfica
Pérdida y ganancia de la cubierta de árboles	Universidad de Maryland	Anual y cada 12 años	30m	Mundial
Pérdida probable de la cubierta de árboles de FORMA	Instituto de Recursos Mundiales	Mensual	500 m	Zonas tropicales húmedas
Deforestación y degradación de SAD	IMAZON	Mensual	250 m	Amazonas brasileño
Pérdida de la cubierta de vegetación de QUICC (> 40 % por periodo)	NASA	Trimestral	5 km	Mundial
Incendios activos	NASA	Diaria	1 km	Mundial

Cuadro 7.4. Datos de monitoreo forestal disponibles a través del portal de datos e interfaz de mapeo en línea de Global Forest Watch

El sitio web de GFW 2.0 —que se encuentra en fase beta a la hora de redactar este informe— está disponible en siete idiomas, y consta de múltiples páginas. Cada página trata un tema, entre ellos: 1) datos y estadísticas para cada país; 2) mapeo en línea; 3) descarga de datos; 4) historias; v) un blog. Por ejemplo, la página para cada país proporciona estadísticas básicas para un país especificado por el usuario sobre distintos medidores relacionados con los bosques. Entre otros, estos incluyen: empleo e ingresos generados por el sector de la silvicultura, legislación relevante en materia de silvicultura, reservas y emisiones de carbono; y convenciones internacionales pertinentes. La interfaz del mapa muestra cada uno de los conjuntos de datos de monitoreo forestal en periodos de tiempo especificados por el usuario para países individuales, y publica estadísticas para estos periodos de tiempo; también permite descargar los datos seleccionados en distintos formatos SIG.

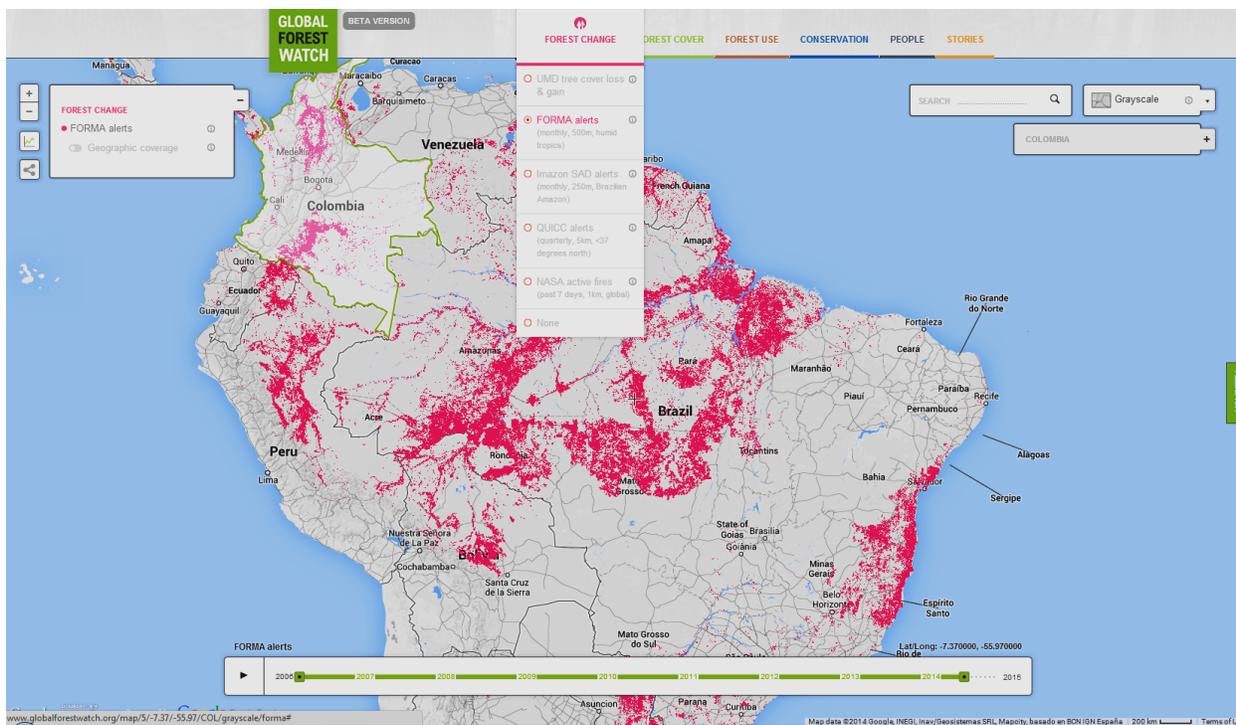


Figura 7.10. Interfaz de mapeo en línea de Global Forest Watch que muestra uno de los cinco tipos distintos de datos de monitoreo forestal (episodios de deforestación probable de FORMA).

La página para la descarga de datos permite que los usuarios descarguen directamente los datos del sitio web (o que se suscriban para recibir alertas por correo electrónico, si la opción está disponible) de algunos proyectos (p. ej., NASA, FIRMS, ImazonGeo, etc.). Además, esta página enlaza a un foro de discusión de Google Groups en el que los usuarios pueden interactuar con el personal de GFW para recibir ayuda e información técnica, o en el que pueden tratar cuestiones relacionadas con la conservación y la gestión forestal en sus propios países. La página de historias ofrece enlaces a informes externos de noticias relacionadas con la conservación y los bosques, y el personal de GFW utiliza el blog para publicar artículos en línea sobre temas como el monitoreo forestal y la tecnología.

Recientemente, GFW incluyó otro componente al portal. Este sitio⁵⁹ se centra en la región del Sur de Asia, y permite que el usuario incorpore y analice distintas capas de datos que le permiten rastrear incendios forestales, humaredas y la calidad del aire. Se pueden analizar estas variables durante periodos de tiempo seleccionados para distritos o regiones concretas y según materias primas seleccionadas (incluida la madera para papel y el aceite de palma).

Actualmente, GFW es el sitio web con más abundancia de información para acceder a distintos rangos de datos históricos y de monitoreo NRT sobre el estado de los recursos forestales a nivel mundial (Figura 7.10). Las alertas de GFW no se envían como notificaciones activas a los usuarios, sino que son datos que se pueden consultar y descargar del mapa interactivo de GFW. Sin embargo, tal como se ha comentado en las secciones sobre ImazonGeo y FIRMS, algunos de los colaboradores que proporcionan datos lo hacen desde los sitios web de sus proyectos mediante un correo electrónico o una alerta enviada al teléfono celular inmediatamente

Terra-i

⁵⁹ <http://fires.globalforestwatch.org>

Terra-i⁶⁰ proporciona acceso en línea a estimaciones bimensuales sobre el cambio en la vegetación de todo el continente latinoamericano, tanto en inglés como en español. Utiliza un enfoque similar al de FORMA (tratado anteriormente), y produce “anomalías de verdor” (*greenness anomalies*) con resolución de 250 m, en las que se indican los lugares en los que la cubierta de vegetación puede haber cambiado recientemente debido a factores como la tala selectiva, la quema y la construcción de represas. Se pueden consultar en línea los datos de su sistema (2004-2014) por medio de una interfaz de mapas (Figura 7.11). También se pueden descargar los datos en distintos formatos SIG por áreas de interés específicas de cada país (ecoregiones, áreas protegidas, áreas indígenas y unidades políticas). Adicionalmente se pueden consultar estadísticas anuales y bimensuales de los cambios de vegetación producidos entre 2004 y 2014 para cada una de las áreas de interés.

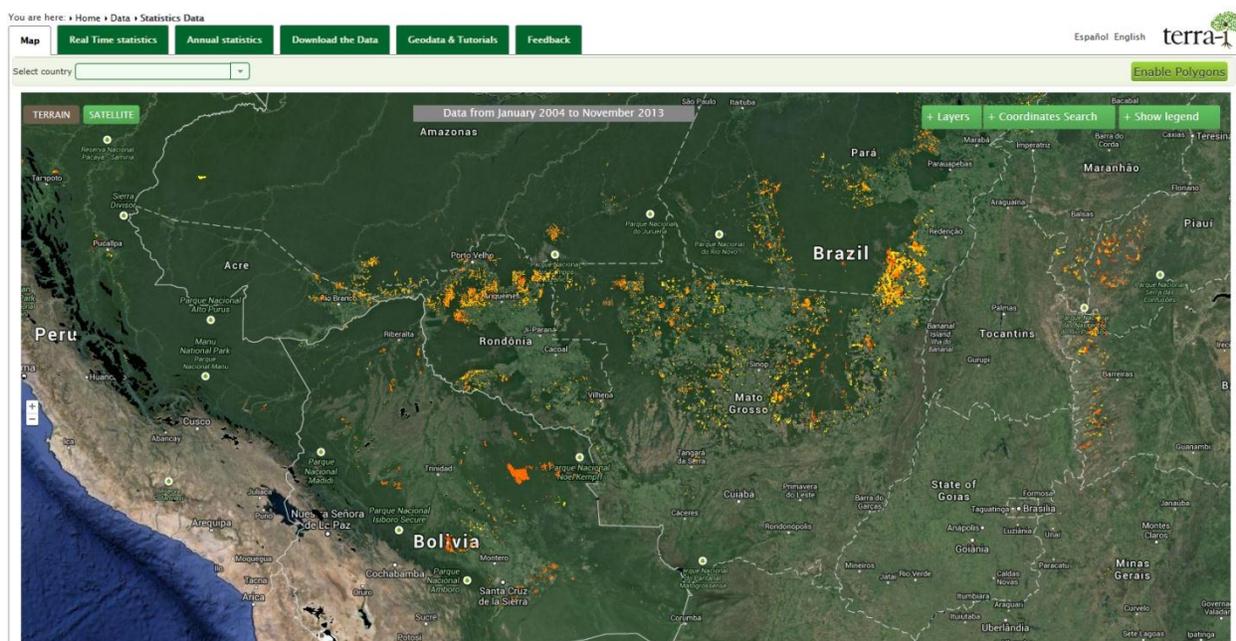


Figura 7.11. Interfaz del mapa en línea de Terra-i que muestra las anomalías de verdor de NDVI del año 2004 al 2014.

7.3.6 Utilidad de los sistemas de monitoreo NRT

En noviembre del 2011, Conservación Internacional realizó una encuesta a sus suscriptores para obtener opiniones de los usuarios acerca de los sistemas de monitoreo y previsión de CI sobre la utilidad de los sistemas de monitoreo forestal y de incendios en el contexto de los países en desarrollo. En el año 2013, la encuesta se amplió y pasó a incluir también entrevistas en profundidad con los usuarios, así como evaluaciones institucionales de los sistemas de monitoreo NRT en Bolivia, Perú, Indonesia y Madagascar. Las 118 personas que participaron en la encuesta representaron a ONG nacionales (28 %), ONG internacionales (22 %), agencias gubernamentales (20 %), instituciones académicas y la prensa (20 %) y el sector privado (10 %). Los resultados de la encuesta ofrecieron información sobre el modo en el que las distintas instituciones incorporan los datos NRT en sus procesos de toma de decisiones. Más del 21 % de los encuestados declararon utilizar los datos como apoyo para las acciones de vigilancia y monitoreo forestal; el 19 % lo hacía para gestionar las áreas protegidas; el 7 % usaba los datos para ayudar con el desarrollo de políticas relacionadas con la conservación y el desarrollo sostenible; el 13 %

⁶⁰ <http://www.terra-i.org>

los usaba para investigación; el 12 % para fines educativos y de capacitación; y el 3 % para actividades sociales o relacionadas con la salud pública. Se percibieron los datos sobre incendios como información con un alto valor intrínseco, y el 73 % de los encuestados respondió que las alertas de incendio les habían resultado muy útiles para su trabajo o para fines de investigación. Los encuestados también indicaron que la información de previsión del riesgo de incendio estacional supuso un aporte valioso para sus actividades de toma de decisiones. Los resultados de la encuesta confirmaron numerosos informes anecdóticos de usuarios en Madagascar, Indonesia, Perú y Bolivia sobre cómo los datos de monitoreo forestal y de incendios ayudan a lograr los objetivos de conservación y gestión, ayudando a diseñar estrategias, instando a que haya respuestas oficiales para el cumplimiento de las políticas relativas a la deforestación y la degradación, ayudando a aumentar la concientización y permitiendo que haya un control y una prevención de incendios.

En Madagascar, por ejemplo, una serie de reuniones que tuvieron lugar como parte de una evaluación de mitad de proyecto por parte de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), reveló que los datos de monitoreo forestal se utilizaban para un amplio rango de aplicaciones. Entre ellas, se incluían la supresión de incendios activos, talleres de control y prevención de incendios, dar prioridad a la gestión de recursos basados en la intensidad de los incendios y la vulnerabilidad ecológica, mejorar la gestión de las áreas protegidas y de plantaciones forestales, y estudiar la influencia del cambio climático en la frecuencia de incendios.

7.3.7 Cuestiones clave

Además de las consideraciones técnicas relacionadas con los datos de monitoreo forestal NRT (p. ej., la necesidad de imágenes sin nubes con una latencia mínima o una resolución espacial adecuada), existen otras cuestiones clave que se deben investigar para garantizar que el sistema de monitoreo aborde adecuadamente las necesidades y los posibles obstáculos que los usuarios finales enfrentan al acceder a datos NRT. A medida que los países vayan incorporando el monitoreo NRT a los sistemas nacionales de monitoreo forestal (SNMF), deberán abordar el tema de la utilidad de los sistemas de monitoreo NRT para sus necesidades en lo que se refiere: a las demandas del ancho de banda, las opciones de personalización por parte del usuario, sistemas de envío de datos de transmisión automatizada “push” frente a sistemas de acceso manual a los datos, y la participación y la apropiación a nivel local.

Demandas de ancho de banda

En muchos países el acceso a Internet con un ancho de banda amplio continúa siendo limitado, sobre todo fuera de los principales centros urbanos. Por ese motivo, resulta muy importante optimizar los sistemas de distribución de datos NRT para que los usuarios puedan acceder a tiempo a las notificaciones (p. ej., las alertas por correo electrónico) sobre amenazas forestales. Es posible que los portales web con una gran cantidad de datos y funcionalidad sólida, como el mapeo interactivo, sean demasiado lentos como para resultar útiles a las instituciones que tienen conexiones a Internet con un ancho de banda bajo. Además, muchos usuarios de datos de monitoreo NRT pasan largos periodos de tiempo en sitios remotos sin acceso a computadoras, en lugares en los que las comunicaciones solo son posibles a través de teléfonos celulares. La mejor manera de distribuir alertas NRT a este tipo de usuarios es mediante mensajes de textos, alertas por correo electrónico, o notificaciones web con un ancho de banda bajo y aplicaciones de mapeo simples para aquellos usuarios que utilizan teléfonos inteligentes.

Personalización por parte del usuario

Ofrecer información de geolocalización precisa sobre las amenazas forestales puede ser extremadamente beneficioso para los usuarios que trabajan activamente para dar respuesta a actividades

forestales ilegales, como talas o invasiones. Incluso, sistemas de monitoreo NRT y de envío de datos que adaptan análisis y notificaciones posteriores a la actividad ilegal en un área geográfica de interés del usuario (p. ej., áreas de proyectos REDD+, áreas de conservación, unidades de gestión administrativa, tipos de vegetación, etc.), pueden mejorar de manera significativa el valor de los datos NRT en el contexto de la toma de decisiones y a la hora de dar respuestas. Al filtrar y descartar los datos que no proporcionan información esencial, centrándose solamente en aquellas áreas pertinentes para un usuario final concreto, podrán reducir los volúmenes de datos transferidos (algo que resulta importante para los usuarios que solo tienen acceso a conexiones con un ancho de banda baja o que solo pueden conectarse a través de teléfonos celulares), disminuir la frecuencia con la que los usuarios reciben las alertas y aumentar también la probabilidad de que se preste la atención adecuada a las alertas recibidas.

Sistemas de acceso manual a los datos frente a sistemas de envío de datos de transmisión automatizada “push”

Los sistemas de acceso manual a los datos incluyen los portales de búsqueda y descarga y las páginas web de mapeo interactivo que permiten la consulta y la visualización de datos de monitoreo NRT sobre el fondo de un mapa. Para acceder a estos sistemas, el usuario debe iniciar sesión en un sitio web y buscar la información en un buscador web. El usuario final explora los datos NRT de manera interactiva por amplias áreas geográficas, pero para que el usuario pueda obtener la información más reciente, es necesario que acceda siempre al sitio web, lo que puede provocar que haya lapsos de tiempo desde el momento que se publican los datos en línea hasta el momento en el que se accede a los datos manualmente (el momento en el que usuario puede conectarse a Internet).

El desarrollo de los sistemas de envío de datos de transmisión automatizada “push” supuso un gran avance en la evolución del monitoreo NRT. Un sistema de alerta que genera y envía automáticamente a los usuarios una notificación por mensaje de texto o correo electrónico, además de adjuntos con mapas o archivos de datos shapefile/KML sin que estos tengan que iniciar sesión en un sitio web, permite que los usuarios puedan acceder a los datos con un mínimo esfuerzo y que los datos se entreguen al usuario final con una latencia mínima. Además, los sistemas gratuitos de envío automatizado mediante suscripción permiten que los usuarios personalicen las alertas según sus áreas de interés, tal como se explica en el apartado anterior, “Personalización por parte del usuario”.

De hecho, ambos sistemas (los sistemas de acceso manual a los datos y los sistemas de envío de datos de transmisión automatizada “push”) deberían verse como sistemas complementarios: uno de ellos proporciona acceso interactivo a múltiples canales de datos en áreas geográficas amplias, mientras que el otro proporciona acceso a datos NRT con una latencia mínima y sin que le suponga un esfuerzo al usuario final. Algunos sistemas de monitoreo NRT proporcionan ambas opciones, como FIRMS y Firecast.

Confianza, participación y apropiación a nivel local

Uno de los principales obstáculos para que las agencias gubernamentales implicadas en el MRV de REDD+ de los países puedan adoptar y utilizar ampliamente los datos de monitoreo NRT no es de naturaleza técnica. En realidad, uno de los mayores obstáculos tiene que ver con la confianza que transmiten los datos y su apropiación. Los gobiernos suelen preferir controlar la generación de la información y el acceso a esta, sobre todo si la difusión pública puede tener consecuencias legales o financieras. Además suelen ser hostiles a datos y sistemas de entidades de otro país fuera de la jurisdicción nacional. Es posible que las entidades gubernamentales prohíban el uso oficial de datos de monitoreo NRT generados y provistos por fuentes no oficiales, y puede que incluso ignoren o eliminen los datos que reciben. Para superar este posible obstáculo y que las agencias gubernamentales tomen oficialmente los datos como propios, es importante establecer relaciones positivas en una etapa temprana con los homólogos gubernamentales adecuados, así como abordar los posibles problemas que puedan ser fuente de preocupación (p. ej., en lo relativo a la exactitud de los datos). Además, a los diseñadores y gestores de los sistemas de monitoreo NRT les puede resultar útil explorar la posibilidad

de que los gobiernos sean “propietarios” de los sistemas; por ejemplo, pueden integrar en el sitio web de una agencia gubernamental la funcionalidad de una página web de mapeo interactivo que transmite datos NRT en *streaming*, o pueden renovar el sitio web o el sistema de alertas y los correos electrónicos que se envían e incluir el logotipo de la agencia gubernamental en cuestión.

7.3.8 Conclusión

Cada año se crean más sistemas de monitoreo forestal NRT centrados en incendios activos, en el riesgo de incendios y en la deforestación a gran escala; algunos sistemas están evolucionando para integrar más vías de datos y ofrecer una mayor variedad de servicios, incluidas las redes sociales y el intercambio de datos móviles. A medida que hay más opciones de datos satelitales disponibles y que las adquisiciones asociadas suponen menos costos, hay mejores oportunidades para los sistemas NRT que se pueden incorporar en los sistemas de alerta. Además, los sistemas NRT representan un componente útil en todo sistemas de MRV: Si bien es posible que estos sistemas no contribuyan directamente al reporte requerido, es cierto que proporcionan una primera visión sólida y aumentan el potencial para que los países y los programas mejoren el manejo forestal flexible y las capacidades de cumplimiento.

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20523

Tel: (202) 712-0000

Fax: (202) 216-3524

www.usaid.gov